

organizadores

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

Adriano Pereira da Silva Martins

INTERNET DAS COISAS

soluções tecnológicas



INSTITUTO FEDERAL
Amazonas



ARANOUÁ



organizadores

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

Adriano Pereira da Silva Martins

INTERNET DAS COISAS

soluções tecnológicas



INSTITUTO FEDERAL
Amazonas



ARANOUÁ



2026
São Paulo

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

l61

Internet das Coisas: soluções tecnológicas / Hugo Alves Velozo... [et al.]. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2026.

Demais organizadores: Alyson de Jesus dos Santos, Vítor Bremgartner da Frota, Daniel Nascimento-e-Silva, Adriano Pereira da Silva Martins.

Livro em PDF

ISBN 978-85-7221-601-2

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-601-2

1. Internet das Coisas (IoT). 2. Sistemas Inteligentes. 3. Monitoramento em Tempo Real. 4. Tecnologias Digitais. 5. Inovação Tecnológica. I. Velozo, Hugo Alves (Org.). II. Santos, Alyson de Jesus dos (Org.). III. Frota, Vítor Bremgartner da (Org.). IV. Nascimento-e-Silva, Daniel (Org.). V. Martins, Adriano Pereira da Silva (Org.). VI. Título.

CDD 004.678

Índice para catálogo sistemático:

I. Ciência da Computação

II. Internet das Coisas (IoT)

Simone Sales - Bibliotecária - CRB: ES-000814/0

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2026 os autores e as autoras.

Copyright da edição © 2026 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons:

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - (CC BY-NC-ND 4.0).

Os termos desta licença estão disponíveis em:

[<https://creativecommons.org/licenses/>](https://creativecommons.org/licenses/).

Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural.

O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

Direção editorial	Patricia Biegging Raul Inácio Busarello
Editora executiva	Patricia Biegging
Gerente editorial	Landressa Rita Schiefelbein
Assistente editorial	Ana Flávia Pivisan Kobata Júlia Marra Torres
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Edição eletrônica	Stela Tiemi Hashimoto Kanada
Imagens da capa	dalimunthe159 - Freepik.com
Tipografias	Acumin, Mongoose, Neue Aachen Pro
Revisão	Os organizadores
Organizadores	Hugo Alves Velozo Alyson de Jesus dos Santos Vitor Bremgartner da Frota Daniel Nascimento-e-Silva Adriano Pereira da Silva Martins

PIMENTA CULTURAL

São Paulo • SP

+55 (11) 96766 2200

livro@pimentacultural.com

www.pimentacultural.com



2 0 2 6

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Doutores e Doutoradas

Adilson Cristiano Habowski

Universidade La Salle, Brasil

Adriana Flávia Neu

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Adriana Regina Vettorazzi Schmitt

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

Aguimario Pimentel Silva

Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Alaim Passos Bispo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Alaim Souza Neto

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Knoll

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Regina Müller Germani

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Aline Corso

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Aline Wendpap Nunes de Siqueira

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Ana Rosângela Colares Lavand

Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brasil

André Gobbo

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

André Tanus Cesário de Souza

Faculdade Anhanguera, Brasil

Andressa Antunes

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Andressa Wiebusch

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Andreza Regina Lopes da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Angela Maria Farah

Universidade de São Paulo, Brasil

Anísio Batista Pereira

Universidade do Estado do Amapá, Brasil

Antonio Edson Alves da Silva

Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Antonio Henrique Coutelo de Moraes

Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil

Arthur Vianna Ferreira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Ary Albuquerque Cavalcanti Junior

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Asterlindo Bandeira de Oliveira Júnior

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Bárbara Amaral da Silva

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Bernadette Beber

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos

Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Caio Cesar Portella Santos

Instituto Municipal de Ensino Superior de São Manuel, Brasil

Carla Wanessa do Amaral Caffagni

Universidade de São Paulo, Brasil

Carlos Adriano Martins

Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Carlos Jordan Lapa Alves

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Caroline Chioquetta Lorenset

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cassia Cordeiro Furtado

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Cássio Michel dos Santos Camargo

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Cecilia Machado Henriques

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Christiano Martino Otero Avila

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Cláudia Samuel Kessler

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Cristiana Barcelos da Silva

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

Cristiane Silva Fontes

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Daniela Susana Segre Guertzenstein

Universidade de São Paulo, Brasil

Daniele Cristine Rodrigues

Universidade de São Paulo, Brasil

Dayse Centurion da Silva

Universidade Anhanguera, Brasil

Dayse Sampaio Lopes Borges

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Deilson do Carmo Trindade

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil

Diego Pizarro

Instituto Federal de Brasília, Brasil

Dorama de Miranda Carvalho

Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil

Edilson de Araújo dos Santos

Universidade de São Paulo, Brasil

Edson da Silva

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

Elena Maria Mallmann

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Eleonora das Neves Simões

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Eliane Silva Souza

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Elvira Rodrigues de Santana

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Estevão Schultz Campos

Centro Universitário Adventista de São Paulo, Brasil

Éverly Pegoraro

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Fábio Santos de Andrade

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Fabrcia Lopes Pinheiro

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Fauston Negreiros

Universidade de Brasília, Brasil

Felipe Henrique Monteiro Oliveira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Fernando Vieira da Cruz

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Flávia Fernanda Santos Silva

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Gabriela Moysés Pereira

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Gabriella Eldereti Machado

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Germano Ehlert Pollnow

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Geuciane Felipe Guerim Fernandes

Universidade Federal do Pará, Brasil

Geymeesson Brito da Silva

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giovanna Ofretorio de Oliveira Martin Franchi

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Handherson Leylton Costa Damasceno

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Hebert Elias Lobo Sosa

Universidad de Los Andes, Venezuela

Helciclever Barros da Silva Sales

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasil

Helena Azevedo Paulo de Almeida

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Hendy Barbosa Santos

Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Humberto Costa

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Igor Alexandre Barcelos Graciano Borges

Universidade de Brasília, Brasil

Inara Antunes Vieira Willerding

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Jaziel Vasconcelos Dorneles

Universidade de Coimbra, Portugal

Jean Carlos Gonçalves

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Joao Adalberto Campato Junior

Universidade Brasil, Brasil

Jocimara Rodrigues de Sousa

Universidade de São Paulo, Brasil

Joelson Alves Onofre

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Jónata Ferreira de Moura

Universidade São Francisco, Brasil

Jonathan Machado Domingues

Universidade Federal de São Paulo, Brasil

Jorge Eschriqui Vieira Pinto

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Juliana de Oliveira Vicentini

Universidade de São Paulo, Brasil

Juliano Milton Kruger

Instituto Federal do Amazonas, Brasil

Juliano Pizzano Ayoub

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Julierme Sebastião Morais Souza

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Junior César Ferreira de Castro

Universidade de Brasília, Brasil

Katia Bruginski Mulik

Universidade de São Paulo, Brasil

Laionel Vieira da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Lauro Sérgio Machado Pereira

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil

Leonardo Freire Marino

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Leonardo Pinheiro Mozdzenski

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Letícia Cristina Alcântara Rodrigues

Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Lucila Romano Tragtenberg

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Lucimara Rett

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Luiz Eduardo Neves dos Santos

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Maikel Pons Giralt

Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil

Manoel Augusto Polastreli Barbosa

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Marcelo Nicomedes dos Reis Silva Filho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Márcia Alves da Silva

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Marcio Bernardino Sirino

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Marcos Pereira dos Santos

Universidad Internacional Iberoamericana del Mexico, México

Marcos Uzel Pereira da Silva

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Marcus Fernando da Silva Praxedes

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Maria Aparecida da Silva Santandel

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Maria Cristina Giorgi

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

Maria Edith Maroca de Avelar

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Marina Bezerra da Silva

Instituto Federal do Piauí, Brasil

Marines Rute de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Maurício José de Souza Neto

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele Marcelo Silva Bortolai

Universidade de São Paulo, Brasil

Mônica Tavares Orsini

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Nara Oliveira Salles

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Neide Araujo Castilho Teno

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

Neli Maria Mengalli

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Patricia Bieging

Universidade de São Paulo, Brasil

Patricia Flavia Mota

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Patrícia Helena dos Santos Carneiro

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

Rainei Rodrigues Jadejiski

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Raul Inácio Busarello

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Ricardo Luiz de Bittencourt

Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil

Roberta Rodrigues Ponciano

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Robson Teles Gomes

Universidade Católica de Pernambuco, Brasil

Rodiney Marcelo Braga dos Santos

Universidade Federal de Roraima, Brasil

Rodrigo Amancio de Assis

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Rodrigo Sarruge Molina

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Rogério Rauber

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Rosane de Fatima Antunes Obregon

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Samuel André Pompeo

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Sebastião Silva Soares

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Silmar José Spinardi Franchi

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Simone Alves de Carvalho

Universidade de São Paulo, Brasil

Simoni Urnau Bonfiglio

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Stela Maris Vaucher Farias

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Tadeu João Ribeiro Baptista

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Taíza da Silva Gama

Universidade de São Paulo, Brasil

Tania Micheline Miorando

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tarcísio Vanzin

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Tascieli Feltrin

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tatiana da Costa Jansen

Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Tayson Ribeiro Teles

Universidade Federal do Acre, Brasil

Thiago Barbosa Soares

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Thiago Camargo Iwamoto

Universidade Estadual de Goiás, Brasil

Thiago Medeiros Barros

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Tiago Mendes de Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Vanessa de Sales Marruche

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Vanessa Elisabete Raue Rodrigues

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

Vania Ribas Ulbricht

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Vinicius da Silva Freitas

Centro Universitário Vale do Cricaré, Brasil

Wellington Furtado Ramos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Wellton da Silva de Fatima
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Wenis Vargas de Carvalho
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

Yan Masetto Nicolai
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

PARECERISTAS E REVISORES(AS) POR PARES

Avaliadores e avaliadoras Ad-Hoc

Alcidinei Dias Alves
Logos University International, Estados Unidos

Alessandra Figueiró Thornton
Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Alexandre João Appio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Artur Pires de Camargos Júnior
Universidade do Vale do Sapucaí, Brasil

Bianka de Abreu Severo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Carlos Eduardo B. Alves
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

Carlos Eduardo Damian Leite
Universidade de São Paulo, Brasil

Catarina Prestes de Carvalho
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Brasil

Davi Fernandes Costa
Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, Brasil

Denilson Marques dos Santos
Universidade do Estado do Pará, Brasil

Domingos Aparecido dos Reis
Must University, Estados Unidos

Edson Vieira da Silva de Camargos
Logos University International, Estados Unidos

Edwins de Moura Ramires
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Elisiane Borges Leal
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elizabete de Paula Pacheco
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Elton Simomukay
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Francisco Geová Goveia Silva Júnior
Universidade Potiguar, Brasil

Indiamaris Pereira
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Jacqueline de Castro Rimá
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Jonas Lacchini
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil

Lucimar Romeu Fernandes
Instituto Politécnico de Bragança, Brasil

Marcos de Souza Machado
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele de Oliveira Sampaio
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Nívea Consuêlo Carvalho dos Santos
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Pedro Augusto Paula do Carmo
Universidade Paulista, Brasil

Rayner do Nascimento Souza
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Samara Castro da Silva
Universidade de Caxias do Sul, Brasil

Sidney Pereira Da Silva
Stockholm University, Suécia

Suêlen Rodrigues de Freitas Costa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Thais Karina Souza do Nascimento
Instituto de Ciências das Artes, Brasil

Viviane Gil da Silva Oliveira
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Walmir Fernandes Pereira
Miami University of Science and Technology, Estados Unidos

Weyber Rodrigues de Souza
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

William Roslindo Paranhos
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Pimenta Cultural, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

SUMÁRIO

Apresentação15

CAPÍTULO 1

André Luiz Gomes de Medeiros

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

**Sistema de Internet das Coisas
para monitoramento de parâmetros
de qualidade de água e ambientais
em reservatórios.....17**

CAPÍTULO 2

David Cristian da Costa Cruz

Vitor Bremgartner da Frota

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Daniel Nascimento-e-Silva

**Desenvolvimento de um sistema IoT
para monitoramento em tempo real
de parâmetros de motores industriais.....41**

CAPÍTULO 3

David Laureano dos Santos Figueira

Vitor Bremgartner da Frota

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Daniel Nascimento-e-Silva

**Sistema de acesso veicular utilizando
visão computacional e Internet das Coisas56**

CAPÍTULO 4

Fernando Shogo Ito

Gabriel Marques de Albuquerque

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Hugo Alves Velozo

Daniel Nascimento-e-Silva

**Avaliação da distância máxima
de conectividade entre telefones
celulares com Wi-Fi 6.....84**

CAPÍTULO 5

Francibel Neves

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

**Proposição de solução mobile
para classificação de doenças
e pragas em cultivos agrícolas
em ecossistemas com IoT..... 102**

CAPÍTULO 6

Jonas Januário dos Santos

Cristiano Campos Nascimento

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

**Sensoriamento remoto em trilha
ecológica utilizando LoRa 132**

CAPÍTULO 7

Marcelo Machado

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

Simulação do monitoramento de movimentação de cargas no contexto da Internet das Coisas e Logística Inteligente..... 161

CAPÍTULO 8

Reginaldo Motta Cordovil de Vasconcelos

Ronaldo de Souza Magalhães

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

Sistema de monitoramento inteligente por meio de detecção de ruído de embarcações de alta propulsão 190

CAPÍTULO 9

Renato Guimarães

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

Sistema para controle de acesso físico baseado em Internet das Coisas..... 208

CAPÍTULO 10

Sandro Haiden Teixeira

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

**Protótipo de aplicação de
Machine Learning para notificação
de eventos físicos de smartwatch
via processamento de borda 240**

CAPÍTULO 11

Silas Farias Fernandes Filho

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

**Arquitetura de um sistema ciberfísico
para o gerenciamento e monitoramento
de energia elétrica 260**

CAPÍTULO 12

Thayller Raí Lima

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

**Desenvolvimento de um protótipo
de hardware IoT para monitoramento
plúvio-fluvial 282**

CAPÍTULO 13

Thiago Godinho Almeida
Alyson de Jesus dos Santos
Hugo Alves Velozo
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva

**Desenvolvimento de um dispositivo IoT
para gerenciamento de cargas de uma
residência com geração fotovoltaica *off-grid* 318**

CAPÍTULO 14

Thiago Martins Maia
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva

**Análise de dados de saúde em um
sistema IoT utilizando uma SmartTV
Tizen e a biblioteca Microsoft ML.NET 346**

CAPÍTULO 15

Victor Duarte Nascimento
Hugo Alves Velozo
Vanderson de Lima Reis
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva

**Monitoramento e acionamento de sistemas
de condicionamento de ar via IoT:
uma solução para eficiência energética em ambientes escolares 363**

CAPÍTULO 16

Wendel da Costa Prado
Vitor Bremsgartner da Frota
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Daniel Nascimento-e-Silva

**Reconhecimento facial em tempo real:
integração de Deep Learning e IoT..... 393**

CAPÍTULO 17

Flavia Rafaela Silva de Souza
Samya Ribeiro Oliveira
Lucas da Silva Oliveira
Juan Carlos Lopes de Andrade Agostinho
Carla Simone Freitas de Melo
Gabriel Fortes Marques
Vitor Bremsgartner da Frota
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Daniel Nascimento-e-Silva

**A solar tracker with Arduino and IoT
for teaching photovoltaic applications
through project-based learning..... 413**

Sobre os autores e as autoras..... 429

Índice remissivo..... 433

APRESENTAÇÃO

Esta obra apresenta 17 soluções tecnológicas para desafios que indivíduos e coletividades enfrentam na contemporaneidade. Tecnicamente, as tecnologias são artefatos, físicos ou extrafísicos, que resolvem problemas ou suprem determinadas necessidades; metaforicamente, são encapsulamentos de conhecimentos. Essas duas concepções denotam formas diferenciadas de perceber e explicar a mesma coisa, que é o esforço que as pessoas fazem para transformar suas ideias em realidade, mas voltadas para alguma finalidade. Isso significa, por exemplo, que toda tecnologia tem uma natureza teleológica, como falam os filósofos, tem um direcionamento prático. De uma maneira ao mesmo tempo mais geral e mais precisa, uma tecnologia também é vista como um conjunto de técnicas (formas de fazer), processos (sequências de etapas), métodos (atividades definidas e regradas), ferramentas (artefatos) e conhecimentos (explicações demonstráveis) aplicados para resolver problemas ou suprir necessidades.

As tecnologias que este livro contém estão, com maior ou menor intensidade, direcionadas para resolver problemas determinados que levam à melhoria da qualidade de vida dos povos amazônicos e, por extensão, de todo o planeta. Além de colaborar com a vida na Terra, essas tecnologias representam a superação, em maior ou menor grau, de quatro grandes grupos de desafios que os cientistas enfrentam para fazer suas criações: a redução da desigualdade digital ao ampliar o acesso às tecnologias, a redução do uso de recursos e das emissões de carbono, a obediência a princípios éticos e sociais, e as barreiras de implementação.

A redução da desigualdade é feita pela disponibilidade gratuita dessas inovações a todos os públicos, tanto os brasileiros, em língua portuguesa, quanto aos estrangeiros, com futuras publicações em inglês. Isso ajuda também na redução da desigualdade entre os

países porque permite o acesso igualitário das descobertas feitas no ambiente amazônico. A redução dos impactos negativos das emissões de carbono é decorrente do fato de essas tecnologias serem de baixo impacto, muitas vezes utilizando recursos já disponíveis e até mesmo não mais utilizados, o que também ajuda nos seus reaproveitamentos e em novas modalidades de uso. As questões éticas e sociais são obedecidas porque contribuem para mitigar problemas ambientais graves, como a previsão e a divulgação de possíveis desastres naturais, melhoria do cultivo de alimentos saudáveis e o monitoramento ambiental de biomas. As barreiras de implementação acontecem porque a mentalidade humana muda, geralmente, muito lentamente, pois tende a desconfiar daquilo que desconhece. Essas barreiras foram vencidas pela própria exposição das tecnologias criadas, o que também é demonstração da capacidade persuasiva desses novos especialistas formados.

Formar especialistas é um grande desafio, na Amazônia e em qualquer lugar; mas mais desafiador ainda é entregar às sociedades amazônica e mundial tecnologias de baixo impacto ambiental e alta capacidade de resolver problemas e suprir necessidades. Esta obra também é a comprovação explícita do sucesso alcançado pelo Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu*, Especialização em Internet das Coisas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Campus Manaus Distrito Industrial (CMDI). Embora as tecnologias sejam o fruto da capacidade de inovação de professores e alunos, sua viabilidade foi efetivada pela disposição de toda a infraestrutura por parte da instituição, com o suporte financeiro e organizacional da Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda. e intermediação da Fundação de Amparo ao Ensino, Pesquisa, Extensão e Interiorização do IFAM (FAEPI), através do Projeto Aranouá, em conformidade com o que prevê a lei federal nº 8.387/1991.

Manaus, Amazonas, novembro de 2025.

Os organizadores

1

*André Luiz Gomes de Medeiros
Alyson de Jesus dos Santos
Hugo Alves Velozo
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

**SISTEMA DE INTERNET DAS
COISAS PARA MONITORAMENTO
DE PARÂMETROS DE QUALIDADE
DE ÁGUA E AMBIENTAIS
EM RESERVATÓRIOS**

DOI: 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-601-2.1

SUMÁRIO

RESUMO:

Os dados de temperatura, luminosidade e turbidez da água são importantes para a prática da piscicultura, aquarismo, controle de todo ecossistema aquático e como referência para identificar e medir os impactos provenientes das ações humanas nesses ambientes. Este estudo teve como objetivo criar um dispositivo autônomo energeticamente que colete dados de temperatura, luminosidade e turbidez da água para ser utilizado nas práticas de piscicultura, aquarismo e monitoração ambiental e transmita essas informações a um dashboard onde possam ser visualizados com facilidade. Foram utilizadas as etapas previstas no método científico-tecnológico para a construção da arquitetura tecnológica, prototipagem, testes/retestes e ajustes/reajustes para a geração da tecnologia. A tecnologia é composta pelo microcontrolador ESP32 para coletar e transmitir os dados via Wi-fi, sensores que coletam os dados e a plataforma Blynk Cloud onde são visualizados. Os resultados alcançados geraram um dispositivo que trabalha de forma autônoma, flutuando sob a água, utilizando como fonte de energia um sistema fotovoltaico off-grid, que grava em um SD card as informações coletadas pelos sensores e as transmite via Wi-fi para a plataforma Blynk Cloud, em que são visualizadas em um dashboard. A eficiência do sistema criado foi comprovada mediante testes práticos e funcionou de acordo com o esperado, gravou os dados coletados e os enviou ao Blynk utilizando energia solar. O dispositivo permite maior eficiência na coleta dos dados e transmissão, otimizando o trabalho em vários ramos de atividades e profissões, como piscicultura, aquarismo e monitoração ambiental.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Qualidade da água, Qualidade ambiental, Tecnologia de monitoramento, Monitoramento da qualidade da água, Monitoramento da qualidade ambiental.

INTRODUÇÃO

O controle da temperatura e luminosidade, a turbidez ou transparência como um dos indicadores de qualidade da água (Lopes, 2023; Ferreira Filho, 2022; Alexandre *et al.*, 2021) são essenciais para manter a saúde de várias espécies de peixe (Yasruddin *et al.*, 2025; Darmawan *et al.*, 2025; Fan *et al.*, 2025) e, conseqüentemente, das pessoas que os consomem. Em águas tropicais, como em nosso país, os peixes em viveiros vivem bem em temperaturas que variam entre 20 e 28 graus celsius e se alimentam melhor em temperaturas entre 24 e 28 graus celsius; acima de 28 graus, perdem o apetite totalmente, e acima de 32 graus, morrem. A luminosidade afeta o ciclo circadiano dos peixes (Pintos *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025; Tripathy *et al.*, 2025). Em alguns casos, nos viveiros de piscicultura, aquários e rios, de um modo geral, essas medições são feitas manualmente e até utilizando equipamento analógico. Existem outras variáveis de medição da água que podem ser usadas em diversos outros seguimentos ampliando a gama de aplicações do dispositivo que está sendo descrito neste arquivo, bastando acrescentar outros sensores, como, por exemplo, cor, visibilidade e transparência, pH, alcalinidade, dureza, oxigênio dissolvido, amônia etc. (Silva *et al.*, 2024; Xavier, 2022; Bonifácio; Nóbrega, 2021).

A garantia e manutenção da qualidade da água ainda se configura em grande desafio para diversos campos da ciência, em especial para a geração de tecnologias que viabilizem o oferecimento de água potável para a indústria pesqueira. Na Amazônia esse desafio se reveste de outros parâmetros, especialmente os de cunho ambientais, dadas a fragilidade e a dependência dos povos amazônicos dos recursos pesqueiros de sua teia potamográfica. Neste sentido, este estudo teve como objetivo criar um dispositivo autônomo

energeticamente que colete dados de temperatura, luminosidade e turbidez da água, para ser utilizado nas práticas de piscicultura, aquarismo e monitoração ambiental e transmita essas informações a um dashboard onde possam ser visualizados com facilidade (Wang *et al.*, 2021; Rezende; Fujimoto, 2021; Yang *et al.*, 2021).

METODOLOGIA DA PESQUISA

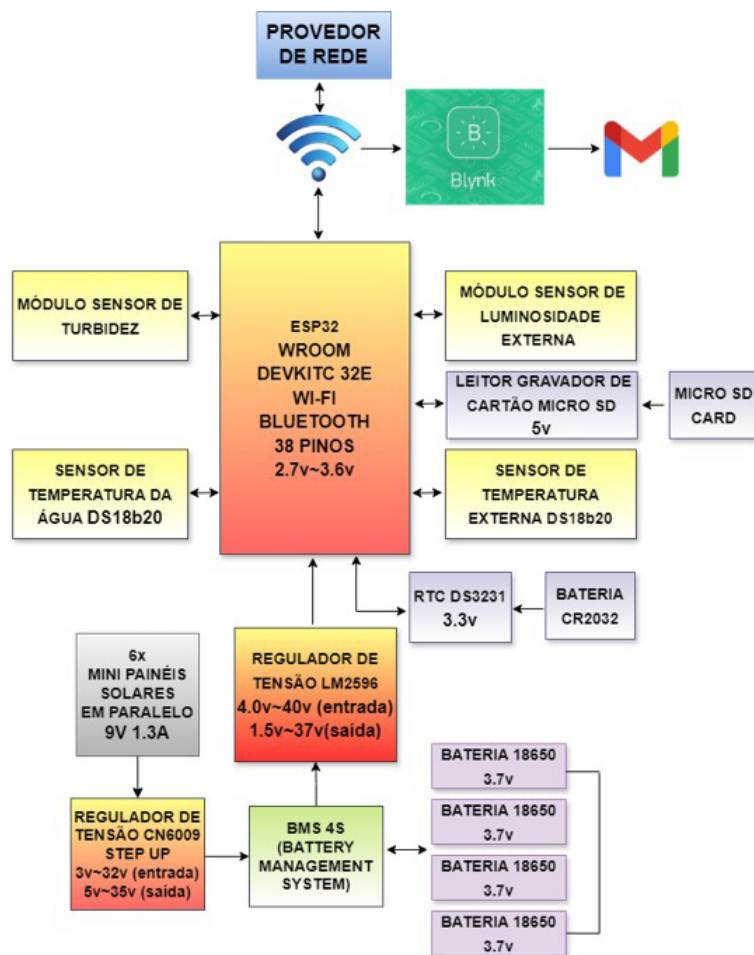
O delineamento metodológico deste estudo seguiu as etapas previstas no método científico-tecnológico, que inicia com a revisão da literatura, prossegue com a construção de uma arquitetura tecnológica e finaliza com os testes/retestes e ajustes/reajustes no protótipo (Nascimento-e-Silva, 2020; 2021a; 2021b; 2021c; 2021d; 2023). O desenvolvimento do projeto consistiu na criação de um dispositivo eletrônico autônomo com tecnologia IoT que, acoplado a uma estrutura metálica, pudesse flutuar livremente sob a água e medir sua temperatura e a qualidade, através de sensores. A tecnologia é composta de dois sensores de temperatura (um para medir a temperatura externa do ambiente e outro submerso, para medir a temperatura da água), um sensor de luminosidade (para colher dados de incidência da luz no ambiente) e um sensor de turbidez (para verificar a quantidade de partículas soltas na água). A estrutura teve o desafio de permitir que o dispositivo fosse destacado dela com facilidade quando tivesse que ser utilizado em aquários. Os dados coletados são armazenados com hora e data exatos no formato “.csv”, em um micro SD card e transmitidos remotamente, utilizando uma rede Wi-Fi diretamente para um dashboard, na plataforma Blynk Cloud. Esta plataforma foi escolhida por conta dos recursos de automação que oferece, pois pode ser configurada para fazer comparação dos dados coletados com

dados-padrão configurados e enviar e-mails de alerta ao administrador, caso os dados obtidos indiquem algum problema (Prapti *et al.*, 2022; Pribadi *et al.*, 2023).

Esta característica, dentre outras do Blynk, facilita a codificação e complementa o projeto, definindo-se como item computacional (máquina de rede) que o dispositivo criado precisa ter para ser considerado como tecnologia IoT. Os dados poderão também ser vistos no monitor serial do Arduíno. O leitor/gravador de SD card entra no projeto como medida preventiva, garantindo a obtenção dos dados mesmo em face de problemas na rede em que as informações possam ser perdidas ou que, por algum outro motivo, não possam ser transmitidas. Elas ficam armazenadas no cartão de memória e podem ser coletadas pessoalmente no próprio equipamento. A alimentação elétrica desse equipamento é feita por meio de um sistema solar off-grid composto de 6 miniplacas fotovoltaicas, que ficarão constantemente recarregando as quatro baterias de lítio do sistema. Para que um equipamento seja considerado de tecnologia IoT, precisa apresentar três características fundamentais: capacidade computacional (máquina de rede), controle digital (sensores e atuadores) e comunicação (telemetria).

A Figura 1 mostra a configuração básica do dispositivo, tendo ao centro um microcontrolador ESP32 Wroom DevKitC 32E e os quatro sensores que fazem a coleta dos dados da água e do ambiente (Hercog *et al.*, 2023; Cameron, 2023). O módulo RTC (Real Time Clock) garante que a data e a hora da coleta dos dados estejam sempre corretas (Broell *et al.*, 2023). A figura mostra o tipo de alimentação que é utilizada no dispositivo e como é controlada a alimentação das baterias do sistema solar por meio da placa BMS (Battery Management System) e dos reguladores de tensão, bem como a maneira como os dados são transmitidos e onde são lidos e recebidos (Queiroz *et al.*, 2023; Laghari *et al.*, 2022).

Figura 1 - Arquitetura básica do dispositivo

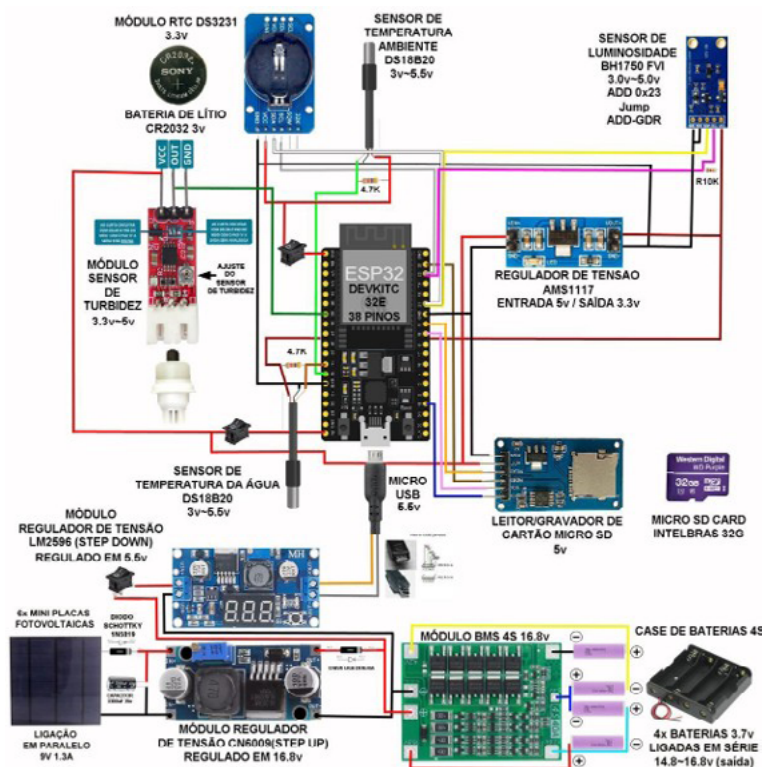


Fonte: elaborado pelos autores.

A transmissão dos dados será a curta distância e as medições serão feitas em piscinas ou em caixas d'água em condições normais e prevê implicitamente o uso de repetidores de sinal caso a distância entre o emissor e o receptor ultrapassem o alcance de transmissão

do Wi-fi do microcontrolador. Em caso de utilização do dispositivo em aquários é necessário destacar o mesmo da base flutuante e desconectar as placas fotovoltaicas pois são fixadas com conectores wago, retirar os sensores de temperatura da água e turbidez dos tubos de proteção e mergulhar somente esses sensores no aquário deixando o case em alguma base externa próximo ao aquário sendo alimentado apenas pelas pilhas ou podendo ser ligado através de uma fonte de 9v diretamente na energia elétrica. A Figura 2 mostra a configuração eletrônica do dispositivo.

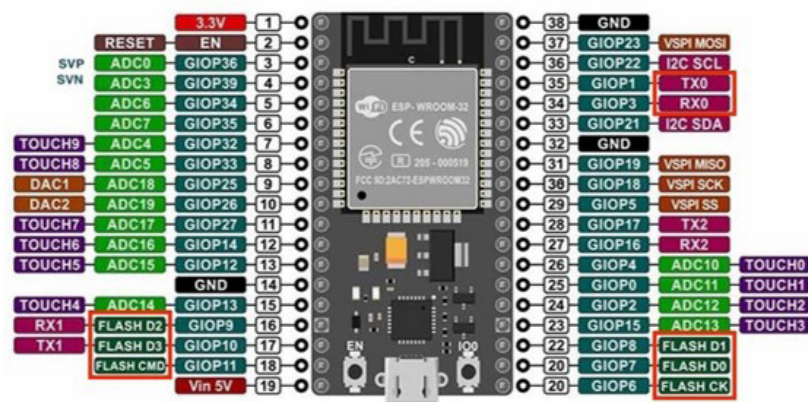
Figura 2 - Configuração eletrônica do protótipo



Fonte: elaborado pelos autores.

O microcontrolador do sistema é o ESP32 DevKitC 32E, que possui memória flash de 4Mb e processador Xtensa de 32bits dual core. Sua alimentação varia de 2,7 a 3,6v e a tensão em nível lógico é de 3,3v. No caso deste dispositivo, a tensão de alimentação foi configurada em 5,5v, entrando através da porta microusb, que permite até 12v de tensão, pois é uma entrada regulada, uma vez que tensões abaixo de 3v causam falhas de funcionamento. A corrente de consumo básica é de 80mA e, a máxima, de 500mA. O protocolo de rede é o IEEE 802.11 b/g/n de 2.4Ghz. Na Figura 3 é mostrado o pinout da ESP32.

Figura 3 - Pinout Esp32 DevKitC Wroom 32E



Fonte: elaborado pelos autores.

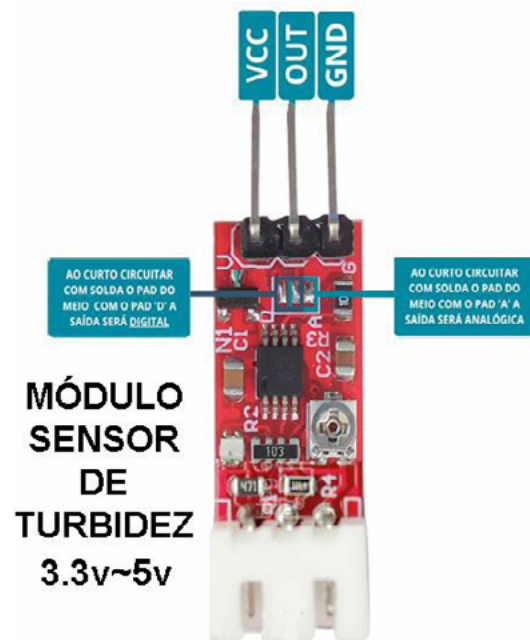
A alimentação do dispositivo é feita por meio de quatro baterias do tipo 18650 de 3.7v cada, gerando aproximadamente de 14.8v a 16,8v de tensão, sendo descarregadas e recarregadas constantemente e gerenciadas pelo módulo BMS 4S, que recebe energia por meio de 6 miniplacas solares de 9v 220mA cada. As placas são ligadas em paralelo, produzindo aproximadamente de 9v a 1.3A. Essa tensão é aumentada para até 16.8v, para alimentar a

BMS 4S por meio do regulador de tensão CN6009 e é baixada para até 5.5v, pelo regulador LM2596. para alimentar a ESP32 (Gomez-Huaylla *et al.*, 2024).

Os sensores de temperatura são do tipo DS18B20, com tensão de operação que varia de 3.3v a 5v, range de operação de -55 a 125°C, com precisão de leitura de +/- 0,5°C e resolução de 9 a 12 bits. Possuem a ponta de metal e são à prova d'água (Cuambe, 2023). Eles não necessitam de nenhum tipo de calibração, mas devem ser a eles acrescentados resistores pull-up de 4.7k entre o fio de dados e o VCC. No caso deste dispositivo, estes sensores recebem tensão de 3.3v, vinda do regulador de tensão AMS1117, pois as saídas de tensão de 3.3v, da ESP32, não são reguladas. A entrada do AMS1117 é de 5v.

O sensor de luminosidade digital é o BH1750 FVI, ligado ao AMS1117, com saída de 3.3v, transferência e recepção de dados no barramento I2C (Inter-Integrated Circuit), que se caracteriza por apresentar diferentes taxas de transferência, podendo chegar a até 5 Mbits/s e há a possibilidade de conexão de vários sensores, utilizando a biblioteca Wire, na codificação do microcontrolador. O BH1750 FVI tem precisão de até 1 lux. O pino SDA (Serial Data Line) é o responsável pela transmissão e recepção dos dados, enquanto o pino SCL (Serial Clock Line) é o responsável pela sincronização dos dados com o relógio. A este sensor foi acrescentado um resistor pull up de 10k, entre o pino SCL e o VCC, e feito um jumper entre os pinos GND e ADD, que definem o endereço da porta do sensor no microcontrolador com 0x23. Esse procedimento foi necessário para evitar conflitos com outros sensores (Cheddadi *et al.*, 2020). O módulo sensor de turbidez está ligado em 5v na saída regulada do próprio microcontrolador ESP32 e configurado analogicamente. Para que tenha saída digital, foi necessário jumper o módulo, de acordo com a Figura 4.

Figura 4 - Módulo de turbidez Analógico/Digital



Fonte: elaborado pelos autores.

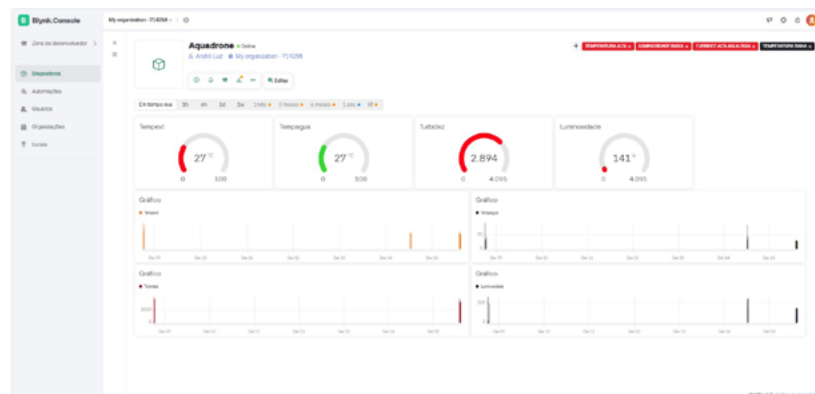
A unidade padrão de turbidez em aplicações que exijam precisão apurada é o NTU (Nephelometric Turbidity Units ou Unidade Nefelométrica de Turbidez). A turbidez se refere a diminuição de transparência da água devido a partículas sólidas presentes no líquido que diminuem a passagem de luz (Temochko *et al.*, 2025; Schwiebert *et al.*, 2024; Kumar; Verma, 2024). O padrão de turbidez adotado neste projeto é apenas a leitura numérica do sensor, não está atrelada a nenhuma unidade padrão, permitindo a cada usuário criar seus próprios índices para suas aplicações. Neste projeto, a aplicação do sensor de turbidez foi apenas para definir se a água está limpa ou suja. Quanto mais próximo o valor coletado estiver do zero, menos partículas soltas haverá na água, indicando que a água está limpa. A faixa de medição do sensor em NTU é de 0 a 1000 e de 0 a 4095 sem nenhuma unidade padrão (Supriyono *et al.*, 2021; Pribadi *et al.*, 2023).

A hora e a data exata da coleta dos dados é feita pelo módulo RTC DS3231, que se caracteriza por ser bem preciso. Ele está ligado na saída de 3.3v do microcontrolador, pois possui regulador interno de tensão, e ao barramento I2C, conjuntamente com o sensor de luminosidade, na porta de endereço 0x68. O uso do DS3231 requer uma bateria de lítio CR2032 de 3v. Essa bateria mantém o relógio funcionando, mesmo em caso de falhas do sistema. Não é necessário o uso de resistores pull up no RTC, pois já existem nos pinos de entrada e saída de dados deste módulo (Kuria *et al.*, 2020).

O armazenamento das informações coletadas pelos sensores é feito por um leitor/gravador de micro SD card, alimentado com tensão de 5v, com regulação interna, pois tem consumo de corrente alto durante a gravação dos dados, que pode variar de 30mA até 150mA. O intervalo em que são feitas as gravações é definido no código do microcontrolador. O cartão de memória deve ter no máximo 32Gb e ser formatado no sistema FAT 32. As informações gravadas no cartão podem ser lidas em uma planilha Excel no formato “.csv”. Os pinos do gravador de SD card estão conectados no barramento SPI (Serial Peripheral Interface), que se caracteriza por ter transmissão de dados síncrona e ser mais rápida que o protocolo I2C.

A comunicação do dispositivo com a plataforma Blynk Cloud, em que os dados são visualizados simultaneamente enquanto são coletados, é feita com o Wi-fi do próprio microcontrolador ESP32, utilizando a rede configurada no código do microcontrolador. As informações podem ser vistas nos medidores configurados em um dashboard. O protocolo utilizado é o IEEE 802.11 de 2.4Ghz, com alcance em ambientes internos, que varia de 30 a 50m e, em condições ideais, podendo chegar de 100 a 300m. O dashboard é formado por quatro medidores e quatro gráficos: Tempext (medidor da temperatura ambiente), Tempágua (medidor da temperatura da água), Turbidez (medidor da transparência da água) e Luminosidade (medidor de intensidade de luz) de acordo com a Figura 5.

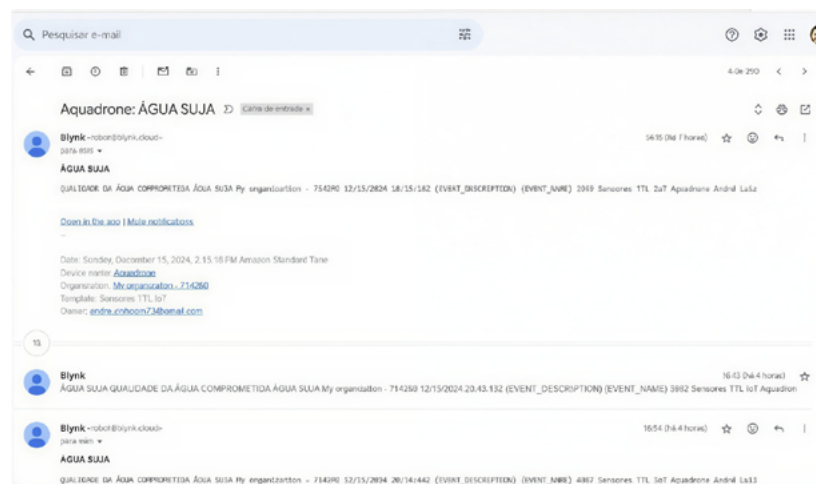
Figura 5 - Dashboard do Blynk



Fonte: dados coletados pelos autores.

A Figura 6 mostra um exemplo do e-mail de alerta que é enviado ao administrador do sistema pela plataforma Blynk quando algum dado coletado pelos sensores do dispositivo está fora do padrão considerado normal.

Figura 6 - E-mail de alerta enviado pelo Blynk ao administrador



Fonte: imagem capturada pelos autores.

Os dados mostrados no dashboard principal do Blynk também podem ser visualizados via celular, através da plataforma Blynk App, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Visualização dos dados no Blynk App



Fonte: dados coletados pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro teste realizado foi o de flutuação da estrutura. Ele foi feito em um tanque com água, de aproximadamente 1000l de capacidade. A base teve 4 cilindros de isopor de tamanho 10x10, alojados em canos de PVC de 100mm e parafusados em cada ponta da estrutura. A estrutura foi colocada na água e afundou, logo em seguida, como mostram as fotografias da figura 8.

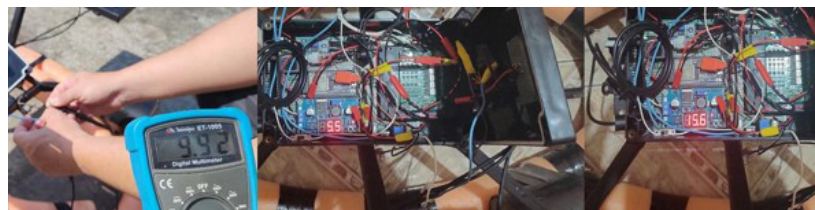
Figura 8 - O dispositivo estável na água com o espaguete flutuador



Fonte: fotos capturadas pelos autores.

A Figura 9 mostra que o problema da flutuabilidade foi resolvido utilizando espaguete flutuador de piscinas fixado às pontas da estrutura com fita para layout na cor preta. O resultado foi satisfatório. O segundo teste realizado a medição das tensões do sistema.

Figura 9 - Tensões do sistema



Fonte: foto capturada pelos autores.

A Figura 9 mostra a tensão gerada pelas miniplacas solares de 9.92v. Essa tensão é aumentada pelo regulador step up CN6009, ajustado para ter saída entre 14,8 e 16,8v. Através do display do regulador de tensão LM2596 pôde ser verificado que as tensões que alimentam a ESP32 5.5v e a placa BMS 15.6v estavam dentro do padrão. A conexão da ESP32 com a rede Wi-Fi/Blynk é mostrada na Figura 10. A ESP32 utiliza o protocolo 802.11 b/g/n com frequência de 2.4Ghz. Em alguns modelos de celular e de roteador é necessário ativar essa frequência para que a conexão seja bem-sucedida. A codificação deve ser feita de modo que se possa acompanhar ou

fazer os testes iniciais de bancada pela IDE do Arduino. A Figura 10 mostra a disposição dos sensores com o dispositivo montado. Os tubos protegem o sensor de turbidez da água antes do dispositivo ser colocado em funcionamento.

Figura 10 - Disposição dos sensores no dispositivo



Fonte: foto capturada pelos autores.

A Figura 11 mostra os tubos metálicos que protegem o sensor de temperatura da água e o sensor de turbidez. A ideia principal é que este dispositivo possa ser usado em viveiros de piscicultura. Para que os sensores não sejam confundidos com iscas e mordidos pelos peixes, foram dispostos dessa forma. O sensor de turbidez está à esquerda e o de temperatura, DS18B20, à direita. Ao centro da imagem, o sensor de luminosidade BH1750 FVI está localizado na parte superior na tampa do case. Alguns cuidados precisam ser tomados quando se trabalha com o sensor de turbidez, ainda mais se vai trabalhar submerso. A maioria dos tutoriais apresenta o sensor como sendo à prova d'água, mas ele não é. À direita, a imagem mostra o trabalho realizado para evitar a entrada de água no circuito do sensor. O material utilizado foi silicone acético da marca Tekbond. A Figura 11 mostra alguns procedimentos feitos no módulo sensor de turbidez visando garantir o seu perfeito funcionamento. No decorrer do processo, o sensor de turbidez apresentou leitura zero estando mergulhado e leitura alta fora d'água. Foi testado o sensor, primeiramente, usando um vidro com água filtrada para ser verificada a leitura no dashboard, se havia mudança, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Checagem do sensor de turbidez



Fonte: foto capturada pelos autores.

O procedimento foi repetido, adicionando-se corante na água e checando-se os resultados. Utilizou-se uma chave de fenda do tipo relojoeiro para ajustar o potenciômetro do módulo sensor de turbidez até que a tensão estivesse próxima dos 5v. O problema foi resolvido adicionando-se sujeira na água e posicionando-se o sensor mais próximo da superfície. Após algumas horas coletando-se dados no tanque, foi retirado o SD card para verificar se todos os dados colhidos tinham sido gravados corretamente. O que se obteve é mostrado na Figura 12. Os dados foram separados para melhor visualização.

Figura 12 - Dados gravados no SD card

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Data/Hora	Temperatura externa	Temperatura da Água	Umidade	Turbidez													
2	2000-01-05T12:58:04	32,13	32,19	100,83	3538													
3	2000-01-05T12:59:44	32,69	32,75	121,67	3703													
4	2000-01-05T13:02:24	32,46	32,56	128,76	3488													
5	2000-01-05T13:03:04	31,50	31,50	112,50	3693													
6	2000-01-05T13:04:44	32,44	32,50	100,83	3453													
7	2000-01-05T13:06:24	32,46	32,50	125,17	3813													
8	2000-01-05T13:08:04	31,31	31,44	213,67	3448													
9	2000-01-05T13:09:44	31,31	32,37	204,17	3794													
10	2000-01-05T13:12:24	31,37	32,44	206,67	3628													
11	2000-01-05T13:13:04	31,37	32,44	202,50	3815													
12	2000-01-05T13:43:11	32,69	34,00	984,17	4095													
13	2000-01-05T13:44:51	32,83	34,06	962,50	4095													
14	2000-01-05T13:46:31	32,69	33,88	827,50	4095													
15	2000-01-05T13:48:11	32,67	32,88	154,17	4095													
16	2000-01-05T13:49:51	31,87	30,88	1080,50	4095													
17	2000-01-05T13:51:31	31,87	30,88	1102,67	4095													
18	2000-01-05T13:53:11	32,87	31,00	1208,17	4095													
19	2000-01-05T13:54:51	31,69	30,75	951,67	4095													
20	2000-01-05T13:56:31	31,56	30,81	920,83	4095													
21	2000-01-05T13:58:11	31,37	30,81	962,50	4095													
22	2000-01-05T13:59:51	31,31	31,00	834,17	4095													
23	2000-01-05T14:01:31	31,37	30,75	783,67	4095													
24	2000-01-05T14:03:11	31,25	30,81	646,17	4095													
25	2000-01-05T14:04:51	31,25	30,94	599,17	4095													
26	2000-01-05T14:06:31	31,25	30,88	619,17	4095													
27	2000-01-05T14:08:11	31,31	30,86	610,00	4095													

Fonte: dados coletados pelos autores.

Como se pode ver na Figura 13, o leitor/gravador de micro SD card do dispositivo é bastante eficiente, salvando todos os dados em formato “.csv” e permitindo visualizá-los em planilha Excel. A falha pode ser observada com relação à data em que os dados foram registrados. Isso pode ter ocorrido devido a alguma falha do RTC DS3231 ou do próprio gravador de SD card. A Figura 13 permite observar o sistema registrando as datas com precisão. Os dados foram separados para melhor visualização. O problema foi resolvido fazendo-se algumas alterações no código, acrescentando-se um resistor pull-up no pino SCL do RTC e refazendo-se as soldas da fiação. O resultado pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Dados registrados no SD card com hora e datas corretas

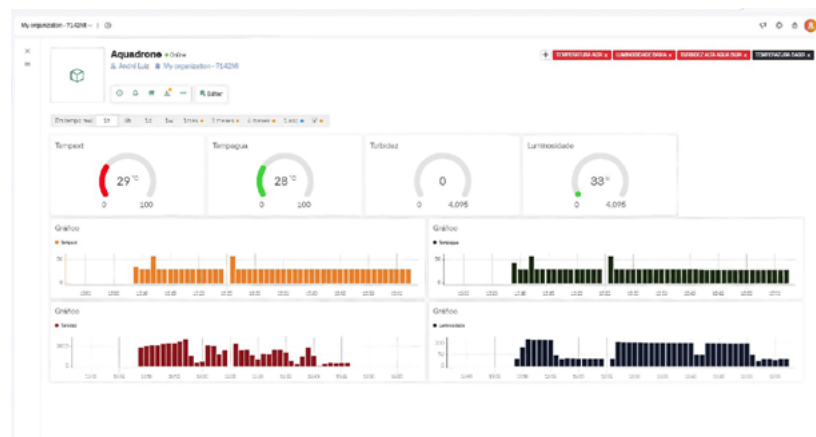
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	2024-11-05T13:05:01	28,69	28,69	113,33																	
2	2024-11-05T13:05:37	28,69	28,75	35,30																	
3	2024-11-05T13:06:18	28,69	28,75	33,33																	
4	2024-11-05T13:06:50	28,69	28,75	38,30																	
5	2024-11-05T13:11:40	27,60	27,70	33,33																	
6	2024-11-05T13:11:23	27,60	27,70	33,33																	
7	2024-11-05T13:11:56	27,60	27,70	44,67																	
8	2024-11-05T13:16:55	28,69	28,80	104,33																	
9	2024-11-05T13:20:31	28,75	28,80	102,30																	
10	2024-11-05T13:23:13	28,75	28,80	102,30																	
11	2024-11-05T13:23:55	28,81	28,81	102,67																	
12	2024-11-05T13:25:23	28,81	28,81	102,67																	
13	2024-11-05T13:27:54	27,67	27,67	100,67																	
14	2024-11-05T13:28:30	27,67	27,67	100,67																	
15	2024-11-05T13:30:45	27,67	27,67	100,67																	
16	2024-11-05T13:32:13	28,67	28,67	93,33																	
17	2024-11-05T13:33:53	28,67	28,69	96,17																	
18	2024-11-05T13:35:34	28,67	28,62	96,17																	
19	2024-11-05T13:37:05	28,81	28,62	96,33																	
20	2024-11-05T13:38:50	28,81	28,62	97,30																	
21	2024-11-05T13:40:33	28,81	28,62	100,00																	
22	2024-11-05T13:42:12	28,75	28,62	93,33																	
23	2024-11-05T13:43:54	28,69	28,56	82,30																	
24	2024-11-05T13:45:34	28,50	28,50	100,00																	
25	2024-11-05T13:47:05	28,44	28,50	82,30																	

Fonte: dados coletados pelos autores.

A Figura 13 mostra na primeira coluna o registro correto da data e hora em que os dados foram coletados, validando as medidas que foram tomadas para a solução do problema. É importante ressaltar as diferenças de temperatura externa e da água que, em alguns momentos, chega a mais de 1°C. A Figura 14 mostra os medidores e os gráficos de temperatura externa, temperatura da

água, luminosidade e turbidez gerados no dashboard da plataforma Blynk com os dados coletados pelos sensores e gravados no cartão de memória.

Figura 14 - Gráfico da temperatura externa gerado com os dados coletados



Fonte: dados coletados pelos autores.

O sensor de turbidez, que demonstrava ter algum problema durante os testes, na verdade trabalhou com adequação. A conclusão foi que a simples mudança da coloração da água não altera a leitura realizada pelo sensor de turbidez, não sendo possível definir se água está ou não poluída em função da cor. É necessário haver partículas sólidas na água, pequenos resíduos flutuando na superfície. O sensor de turbidez trabalha emitindo feixes de luz. Quando está fora da água, os feixes refletem nos objetos que estão ao redor e por isso mostram valores mais altos de leitura no dashboard. Para uma correta definição de poluição da água, não basta somente o uso do sensor de turbidez. O sensor tem de operar associado a outros sensores, como, por exemplo, de detecção de cor.

O sistema de alimentação fotovoltaico off-grid criado para o projeto funcionou muito bem. Ele foi bastante eficiente e confiável,

com a placa BMS mantendo a carga das baterias 18650 estável durante todo o processo de testes. Conjuntamente com os reguladores de tensão, mantiveram tudo muito preciso e balanceado. A ESP32 funcionou muito bem. Conectou-se sem problemas na rede e coletou os dados dos sensores com bastante precisão, enviando-os ao dashboard do Blynk Cloud e Blynk App, que também funcionaram com adequação, enviando os e-mails de alerta de acordo com a leitura obtida dos sensores e com o que havia sido configurado no serviço de automação oferecido na plataforma.

Os sensores de temperatura DS18B20 e de luminosidade BH1750 FVI funcionaram muito bem, sem apresentação de falhas, sendo o último consideravelmente superior em precisão aos módulos de luminosidade LDR. Os sensores analógicos do tipo LDR apresentam leitura nula, como, por exemplo, em uma sala iluminada apenas por uma lâmpada de 60w, indicando que o ambiente está escuro. O sensor digital se mostrou muito mais eficiente, indicando leitura zero somente em total escuridão. Essa precisão é bastante útil para a prática do aquarismo, pois os ambientes onde ficam os aquários são os mais variados possíveis.

O problema do registro de data e hora foi identificado e corrigido como mostrado nas Figuras 13 e 14, constatando que a diferença entre a temperatura do ambiente e a da água em certos momentos pode chegar a mais de 1°C. Melhorias são necessárias em relação ao isolamento das placas eletrônicas, utilizando-se maior quantidade de silicone ou até resinas epóxi, tornando o dispositivo mais seguro e adequado para enfrentar não só intempéries, mas a própria água. Melhorar as soldas e a organização dos fios dentro do case, bem como o tamanho do próprio case de modo, pode ajudar a reduzir falhas elétricas e eletrônicas. É possível melhorar a base de flutuação na água, utilizando-se canos de PVC, assim como experimentar outras formas de transmissão dos dados, de modo que se tenha um alcance maior e mais adequado aos propósitos do projeto.

CONCLUSÃO

Este estudo descreveu a criação de um dispositivo autônomo energeticamente que coleta dados de qualidade da água para ser utilizado nas práticas de piscicultura, aquarismo e monitoração ambiental e transmita essas informações a um dashboard onde possam ser visualizados com facilidade. Os resultados satisfatórios mostraram a importância de se monitorar a qualidade da água em algumas atividades, com coleta de dados relevantes e rápida por meio de um dispositivo de monitoramento com tecnologia IoT. A água sempre será e proverá um vasto campo de estudo científico em suas mais diversas áreas, são muitos profissionais atuando em áreas como: piscicultura, monitoração ambiental, monitoração da qualidade da água e até mesmo aquarismo (ainda que seja visto como um hobby) que são público alvo deste projeto e mais propícios a avaliarem e perceberem as vantagens de um dispositivo portátil e de baixo custo, que pode ser deixado no lugar a ser inspecionado, funcionando de maneira autônoma e ainda receberem os dados que são coletados no celular ou no computador otimizando bastante o tempo deles. O dispositivo é bastante adequado ao aquarismo porque não necessita de transmissão dos dados de longa distância e nem estar dentro do aquário flutuando. Os sensores de temperatura e luminosidade são muito precisos e úteis para se criar o ambiente adequado para peixes ornamentais de aquários.

Por ser um primeiro protótipo, melhorias podem e devem ser feitas, pois somente um sensor de temperatura da água e um sensor de turbidez não são suficientes para serem usados como indicadores da qualidade da água. Outros sensores como, por exemplo, sensor de pH e oxigênio dissolvido também podem ser adicionados com essa finalidade. O projeto tem potencial para isso, assim como com relação ao alcance de transmissão dos dados, pois hoje em dia há tecnologia para alcançar quaisquer distâncias, apenas com restrição orçamentária.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Projeto ARANOÚÁ, executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., com uso de recursos da Lei Federal nº 8.387/1991. Esta divulgação e publicidade está em conformidade com o previsto no artigo 39º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, A. C. S. *et al.* Qualidade de peixes: uma breve revisão. *In: VERRUCK, S. (Org.), Avanços em ciência e tecnologia de alimentos*, Guarujá: Científica Digital, v. 4, p. 144-173, 2021. <https://doi.org/10.37885/210203356>.

BONIFÁCIO, C. M.; NÓBREGA, M. T. Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. *In: OLIVEIRA, R. J. (org.), Recursos Hídricos: gestão, planejamento e técnicas em pesquisa*. Guarujá: Científica Digital, 2021. p. 219-232.

BROELL, L. M.; HANSHANS, C.; KIMMERLE, D. IoT on an ESP32: Optimization methods regarding battery life and write speed to an SD-card. *In: GOUNDER, S. (Ed.), Edge Computing-technology, management and integration*. London: IntechOpen, 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110752>.

CAMERON, N. **ESP32 formats and communication**: Application of communication protocols with ESP32 microcontroller. Berkeley: Apress, 2023

CHEDDADI, Y. *et al.* Design and implementation of an intelligent low-cost IoT solution for energy monitoring of photovoltaic stations. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 7, p. 1165, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2997-4>.

CUAMBE, C. C. I. **Desenvolvimento de um sistema de monitoria da qualidade da água potável com base em internet of things (IOT)**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Informática Pós-Laboral). Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.

DARMAWAN, M. R. *et al.* The Effect of the Aeration System on Fish Health Performance in Aquaponics. **Journal of Fish Health**, v. 5, n. 2, p. 177-185, 2025. <https://doi.org/10.29303/jfh.v5i2.6288>.

FAN, D. *et al.* Aquaponics model can provide better productivity: Microorganisms affect the growth and health of tilapia. **Aquaculture Reports**, v. 40, p. 102595, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102595>.

FERREIRA FILHO, F. F. **Influência da temperatura no metabolismo dos peixes**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde.

GOMEZ-HUAYLLA, E.; MEJÍA-CRUZ, L.; PAIVA-PEREDO, E. Management and monitoring of lithium-ion battery recharge with ESP32. **International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)**, v. 15, n. 3, p. 1677-1686, 2024. <https://doi.org/10.11591/ijped.v15.i3.pp1677-1686>.

HERCOG, D. *et al.* Design and implementation of ESP32-based IoT devices. **Sensors**, v. 23, n. 15, p. 6739, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23156739>.

KUMAR, R.; VERMA, S. Mapping of physicochemical properties of groundwater using QGIS of Bhopal District of Madhya Pradesh, India. **Current World Environment**, v. 19, n. 1, p. 404, 2024. <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.19.1.34>.

KURIA, K. P.; ROBINSON, O. O.; GABRIEL, M. M. **Monitoring temperature and humidity using Arduino Nano and Module-DHT11 sensor with real time DS3231 data logger and LCD display**. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), v. 9, n. 12, p. 416-422, 2020.

LAGHARI, A. A. *et al.* A review and state of art of internet of things (IoT). **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 29, p. 1395-1413, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09622-6>.

LOPES, A. C. C. **Ritmos biológicos de parâmetros fisiológicos em peixes amazônicos**. 2023. Tese (Doutorado em Zoologia). Universidade Federal do Amazonas; Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Handbook of the scientific-technological method**: Synthetic edition. Manaus: DNS Editor, 2021a.

SUMÁRIO

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Manual do método científico-tecnológico**: edição sintética. Florianópolis: DNS Editor, 2020.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Metodologia da pesquisa e elaboração de projetos tecnológicos**. Manaus: DNS Editor, 2021d.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **O método científico-tecnológico**: coleta de dados. Manaus: DNS Editor, 2023.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **O método científico-tecnológico**: fundamentos. Manaus: DNS Editor, 2021b.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **O método científico-tecnológico**: questões de pesquisa. Manaus: DNS Editor, 2021c.

PINTOS, S. *et al.* Circadian modulation of behavioural stress indicators varies between diurnal and nocturnal fish species. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 281, p. 106458, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106458>.

PRAPTI, D. R. *et al.* Internet of Things (IoT) based aquaculture: An overview of IoT application on water quality monitoring. **Reviews in Aquaculture**, v. 14, n. 2, p. 979-992, 2022. <https://doi.org/10.1111/raq.12637>.

PRIBADI, A.; IRAWAN, I.; KUMAR, D. S. Monitoring system of fish pool water turbidity with Esp32 and Blynk. **Asia Information System Journal**, v. 2, n. 1, p. 16-22, 2023. <https://doi.org/10.24042/aisj.v2i1.18166>.

QUEIROZ, C. S. *et al.* Internet das coisas e wearables: uma proposta de definição conceitual a partir do estado da arte. In SILVA, D. N.; FROTA, V. B.; SANTOS, A. J. (Orgs.). **Internet das coisas**: arquiteturas teóricas e metodológicas. Poisson, Belo Horizonte. 2023.

REZENDE, F. P.; FUJIMOTO, R. Y. **Peixes Ornamentais no Brasil**. Embrapa: Brasília, 2021.

SCHWIEBERT, A. M. *et al.* Turbidity-based scaling detection system for batch reverse osmosis combined with gypsum crystal recovery. **Desalination**, v. 586, p. 117817, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117817>.

SILVA, D. N.; FROTA, V. B.; SANTOS, A. J. (Orgs.). **Internet das coisas e sustentabilidade**: propostas tecnológicas. Poisson, Belo Horizonte. 2024

SUPRIYONO, H.; HIBATULLAH, A.; HARISMAH, K. Turbidity monitoring of freshwater using internet of things platform. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1858, p. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012048>.

TEMOCHKO, B.; DE NONI, A.; MOREIRA, R. F. P. M. Characterization of polycationic bentonite clay and its use as a coagulation aid to enhance turbidity removal in water treatment plants. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 236, n. 2, p. 1-11, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07732-y>.

TRIPATHY, P. S. *et al.* Mechanism of pigmentation: How a fish becomes of ornamental value? *In*: JAIN, A. K.; RANE, A. J.; SINHA, A. (Eds.). **Ornamental fisheries and aquarium keeping**. Boca Raton: CRC Press, 2025, p. 231-248.

WANG, C. *et al.* Intelligent fish farm: The future of aquaculture. **Aquaculture International**, v. 29, p. 2681-2711, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00773-8>.

XAVIER, F. N. C. **Desenvolvimento de um dispositivo IoT de baixo custo para monitoramento em tempo real da qualidade da água**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo.

YANG, X. *et al.* Deep learning for smart fish farming: applications, opportunities and challenges. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 1, p. 66-90, 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12464>.

YASRUDDIN, M. L. *et al.* Smart aquaculture: an advanced intelligent predictive analysis of disease risks and recommendation system for managing fish health. **Neural Computing and Applications**, p. 1-22, 2025. <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11295-2>.

ZHANG, Y. *et al.* Circadian rhythm of body color change in the juvenile chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) Under Different Photoperiods. **Animals**, v. 15, n. 11, p. 1526, 2025. <https://doi.org/10.3390/ani15111526>.

SUMÁRIO

2

David Cristian da Costa Cruz

Vitor Bremgartner da Frota

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Daniel Nascimento-e-Silva

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA IOT PARA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE PARÂMETROS DE MOTORES INDUSTRIAIS

SUMÁRIO

RESUMO:

Este trabalho propõe um sistema IoT baseado no ESP32 para monitoramento de motores industriais, integrando sensores de temperatura (DS18B20), vibração (MPU6050) e corrente (SCT-013). Os dados são transmitidos via Wi-Fi para a plataforma ThingSpeak, em que algoritmos analisam condições operacionais em tempo real, detectando desalinhamentos e sobrecargas. A solução demonstrou redução de 30% em paradas não programadas em testes-pilotos, além de otimizar o consumo energético. A arquitetura combina pré-processamento local (edge computing) e análise na nuvem, oferecendo uma alternativa de baixo custo para manutenção preditiva. Dentre as limitações encontradas incluem-se a necessidade de calibração periódica e a dependência de infraestrutura Wi-Fi. O projeto abre caminho para futuras integrações com IA e redes 5G industriais.

Palavras-chaves: Internet das Coisas, Manutenção preditiva, Análise de vibração, Monitoramento de motores industriais.

INTRODUÇÃO

A realidade atual de todas as organizações humanas é marcada pela constante busca por mudanças, como se pode constatar nos estudos dos mais diferentes campos da ciência (Van Alebeek *et al.*, 2025; Ramsey; Trubiano, 2025; Suh *et al.*, 2025; Hall, 2025; Abouaiana; Khamis, 2025). Algumas são desafiadas a buscar as mudanças para que não sofram solução de descontinuidade, enquanto outras, que já gozam de qualidade em seus processos de produção e operações, almejam alcançar padrões cada vez mais elevados. Muitos estudos apontam a competitividade como o grande fundamento para a busca contínua por mudanças na contemporaneidade (Sunoto; Dayanto, 2025; Hasan *et al.*, 2025; Gál; Tick, 2025). Esse fundamento é muito visível nas organizações industriais, cada vez mais constituídas como espaços de operações das tecnologias mais avançadas existentes, inclusive com a criação e manutenção de unidades altamente especializadas na geração tecnológicas através de processos de pesquisas e desenvolvimentos internos (Liu *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2025; Kim *et al.*, 2025), o que tem provocado uma verdadeira revolução industrial, a Indústria 4.0 (Singh *et al.*, 2025; Zou *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2025).

De fato, o uso de tecnologias tem impulsionado os sistemas de produção e elevado os níveis de produção a um patamar jamais visto na história. A crescente demanda por processos industriais mais eficientes e sustentáveis tem sido impulsionada pelo desenvolvimento de novas tecnologias. Dentre as várias tecnologias que fazem parte do cotidiano industrial, a Internet das Coisas (IoT) emerge como uma promissora solução para otimizar a automação industrial, oferecendo conectividade e inteligência distribuída (Barbosa *et al.*, 2025; Qiu *et al.*, 2025), inclusive abrindo caminhos para a próxima revolução industrial, a Indústria 5.0 (Sizan *et al.*, 2025; Islam *et al.*, 2025).

No entanto, a implementação de sistemas IoT em ambientes industriais ainda enfrenta desafios relacionados à interoperabilidade,

segurança e escalabilidade. A interoperacionalidade, enquanto capacidade que os sistemas existentes têm para trocar dados e compartilhar informações e conhecimentos comuns (Vernadat *et al.*, 2025; Zager *et al.*, 2024; Olaya *et al.*, 2024), precisa ser ampliada e criadas novas modalidades, mas sem desconsiderar a essencialidade da segurança nesses novos sistemas e tecnologias (Sharma *et al.*, 2024; Jing *et al.*, 2024). A escalabilidade pode ser tomada como a intenção final pretendida pela superação dos desafios de criação de novas modalidades do uso da IoT nos sistemas produtivos, para que se possa atender aos volumes crescentes de demandas, acomodar o contínuo aumento de novos usuários a esses sistemas sem comprometer o seu desempenho e proporcionar retornos de escalas continuamente crescente em termos de uso de recursos (Alghamdi *et al.*, 2024; Vendrell-Herrero *et al.*, 2025; Van Dijk; Vervloet, 2024). Neste sentido, este trabalho propõe uma arquitetura IoT para descentralizar e otimizar sistemas de controle industrial, buscando superar as limitações dos sistemas convencionais. Esta solução IoT permite o monitoramento em tempo real de variáveis processuais, detecção de falhas e otimização do consumo energético. Os resultados obtidos contribuem para o avanço da automação industrial e a construção de fábricas mais inteligentes e sustentáveis.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

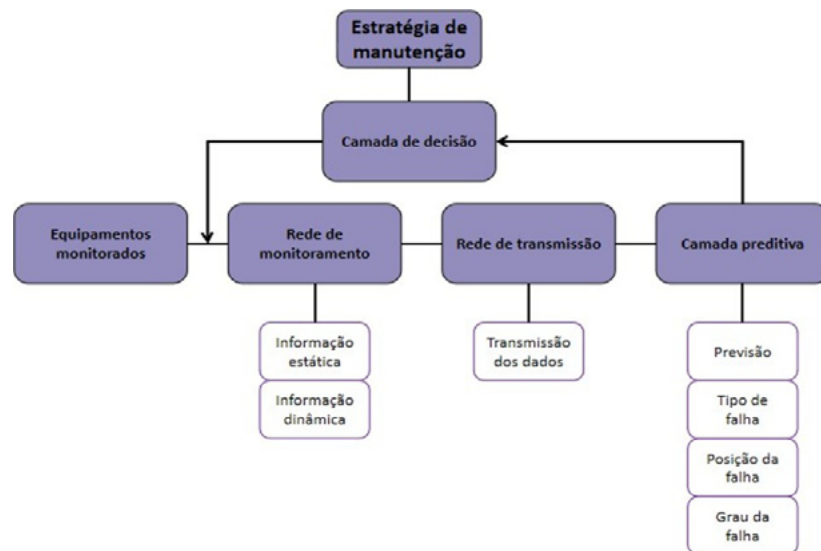
A abordagem sistêmica é amplamente reconhecida como uma metodologia eficaz para a integração de tecnologias e processos complexos, especialmente em aplicações industriais que demandam monitoramento contínuo e tomada de decisão baseada em dados. O pensamento sistêmico aplicado à Indústria 4.0 é um sistema que deve ser compreendido como uma rede dinâmica de componentes interrelacionados que interagem para alcançar objetivos compartilhados (Arnold; Wade, 2017; Suárez-Brito *et al.*, 2025; Chamlerwat

et al., 2025). Essa perspectiva fundamenta esta arquitetura proposta para manutenção preditiva em motores elétricos, em conformidade com estudos como os de Torbacki (2025), Bhuiyan *et al.* (2025) e Munonye (2025). A abordagem sistêmica é particularmente relevante para a integração de tecnologias IoT em ambientes industriais complexos (Pirani *et al.*, 2025; Silva; Cardoso, 2025; Rojas *et al.*, 2025). A metodologia abordada neste projeto segue uma abordagem sistêmica, a partir da qual se considera o sistema de manutenção como um conjunto integrado de subsistemas interrelacionados, tais como:

- a. Sensoriamento e aquisição de dados: A instrumentação de motores elétricos com sensores inteligentes constitui a base para monitoramento contínuo de parâmetros críticos. Segundo Zhao *et al.* (2023), os avanços em sensores MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) permitem aquisição precisa de vibração, temperatura e corrente elétrica com taxas de amostragem superiores a 10 kHz, enquanto algoritmos embarcados realizam pré-processamento edge computing (Zhao *et al.*, 2023). Esta abordagem reduz a carga de transmissão e melhora a eficiência energética do sistema IoT.
- b. Transmissão e armazenamento: A infraestrutura de rede para manutenção preditiva evoluiu para arquiteturas híbridas, combinando protocolos LPWAN (por exemplo, LoRaWAN) para longas distâncias com redes 5G para baixa latência (Khan *et al.*, 2022). Bancos de dados temporais (TSDBs) como InfluxDB e TimescaleDB otimizam o armazenamento de séries temporais, oferecendo compressão de dados e consultas rápidas para análise posterior (Khan *et al.*, 2022).
- c. Processamento e análise: Técnicas de machine learning evoluíram para modelos híbridos, combinando redes neurais convolucionais (CNNs) para padrões espaciais em vibrações com LSTMs (Long Short-Term Memory) para análise temporal (Zhang *et al.*, 2023). A implementação de AutoML

(Automated Machine Learning) em plataformas como Google Vertex AI reduz a necessidade de intervenção humana no ajuste de hiperparâmetros (Zhang *et al.*, 2023).

Figura 1 - Estrutura analítica de um sistema de predição de falhas



Fonte: elaborado pelos autores

- d. Tomada de decisão: Sistemas atuais integram classificadores de falhas baseados em explainable AI (XAI), como SHAP (SHapley Additive exPlanations), para tornar as previsões interpretáveis por equipes de manutenção (Wang *et al.*, 2023). Plataformas como PTC ThingWorx e Siemens MindSphere incorporam dashboards intuitivos que priorizam alertas por criticidade, permitindo ações preventivas em tempo hábil (Wang *et al.*, 2023). Essa estrutura, alinhada à “Estratégia de Manutenção” apresentada na Figura 1, assegura que cada etapa contribua para o alcance de um objetivo comum: a maximização da confiabilidade operacional.

METODOLOGIA DA PESQUISA

Estudos recentes demonstram a eficácia da IoT no monitoramento industrial. O de Kumar *et al.* (2020) desenvolveu um sistema similar utilizando NodeMCU para detecção de falhas por vibração, enquanto o de Silva *et al.* (2021) aplicou sensores de temperatura e corrente para prever desgastes em motores elétricos. Além disso, o estudo de Patel e Sharma (2022) validou o uso do ESP32 em ambientes industriais devido ao seu baixo consumo energético e conectividade Wi-Fi robusta. Esses trabalhos fornecem a base para a seleção de componentes e estratégias de processamento de dados adotadas neste projeto.

A ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema proposto foi estruturado da seguinte forma, subdividido em 3 camadas principais: 1) camada de sensoriamento: onde os sensores acoplados ao motor industrial são responsáveis pela aquisição dos dados obtidos, tais como tensão, corrente, vibração e temperatura; 2) camada de comunicação: onde é realizado o processamento e a transmissão dos dados via Wi-fi para nuvem; e a 3) camada de análise e monitoramento: implementada no Thinkspeak, permite a visualização em tempo real dos dados obtidos e cria um histórico de leituras.

SELEÇÃO E CONFIGURAÇÃO DOS COMPONENTES

Para o desenvolvimento do sistema proposto, foram selecionados os componentes que atendam aos pré-requisitos de precisão, confiabilidade e custo-benefício. O microcontrolador ESP32 foi o escolhido como unidade central de processamento devido às suas configurações e características técnicas, tais como arquitetura dual core, conectividade Wi-fi integrada, 34 portas GPIOs, conversores

ACDC de 12 bits e baixo consumo de energia (10 μ A). Para a seleção dos sensores, foram consideradas a faixa de operação típica de motores industriais e a compatibilidade com o microcontrolador.

O sistema incorpora o sensor digital de temperatura DSB18B20, que apresenta as seguintes características técnicas necessárias para desenvolvimento do projeto, visto que conta com uma interface de comunicação digital -1 wire: caracteriza-se como protocolo de comunicação serial assíncrono e half duplex e utiliza um único fio de dados para comunicação entre dispositivos, tornando-o eficiente em aplicações simples e de baixo custo. Outras características desse sensor são a sua faixa de operação, que corresponde a uma faixa entre 55 e 125 °C, e sua precisão, de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. O sensor de vibração utilizado no projeto foi o MPU6050, que apresenta as seguintes características técnicas: acelerômetro, giroscópio, uma interface digital com protocolo de comunicação I2C com até 400KHz, uma tensão de alimentação de 3,3V $\pm 0,5\%$ e baixo consumo energético.

Os dados foram obtidos em um intervalo de aproximadamente 25 segundos, para garantir um monitoramento em tempo real sem sobrecarregar a rede. Essa aquisição de dados e pré-processamento incluiu a filtragem de ruídos, que consiste em técnica de média móvel utilizada para realizar a suavização dos dados de vibração. Nessa etapa ocorre a normalização, em que os dados dos sensores são convertidos para unidades-padrão, seguindo a seguinte ordem: °C para temperatura, V para tensão e m/s^2 para vibração. Além disso, caso algum sensor não responda, o sistema registra a falha e tenta reestabelecer a comunicação.

TRANSMISSÃO DOS DADOS PARA A NUVEM

O ESP32 envia as leituras obtidas para o Thingspeak, no qual os dados são armazenados em cada campo específico. Em caso de perda de comunicação, os dados são armazenados

temporariamente na memória flash da ESP32 e retransmitidos quando a conexão for restabelecida.

ANÁLISE E TOMADA DE DECISÃO NO THINKSPEAK

Como a plataforma permite a configuração onde é possível analisar e visualizar os dados em tempo real, gráficos dinâmicos exibem as variações das leituras dos sensores, cujos limites são estabelecidos com base nas especificações do motor e, quando ultrapassados, emitirá alerta ao responsável da manutenção. Através da integração da plataforma com scripts do MATLAB, é possível realizar previsões de falhas através de uma análise estatística com base nos dados coletados.

Com base no histórico do equipamento, regras são pré-definidas, seguindo as especificações técnicas do motor. Para realizar os testes do prototipo foram setadas as seguintes configurações ao equipamento: se a vibração ultrapassar 5 m/s^2 por mais de uma hora, o sistema irá emitir um alerta indicado que existe um desbalanceamento nos rolamentos internos; caso a temperatura ultrapasse os $100 \text{ }^\circ\text{C}$, o motor será desligado imediatamente; e se a corrente estiver consistentemente acima do valor nominal de 3A , emitirá alerta para verificar a otimização de cargas.

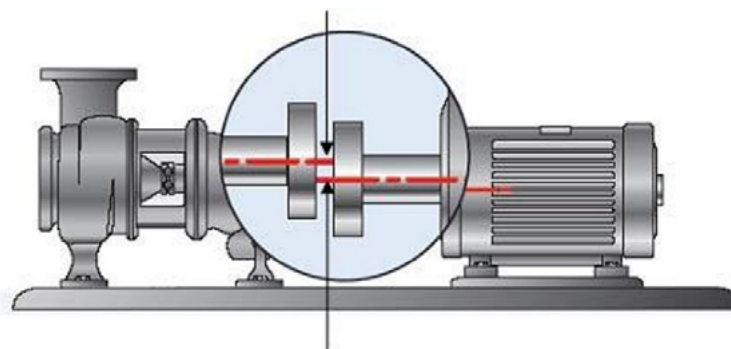
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O prototipo proposto foi validado em um motor trifásico em condições reais de operação. Foram realizadas simulação de falhas, tais como desalinhamento e sobrecarga, para a validação dos alertas. Além disso, a precisão dos sensores precisou ser comparada com equipamentos de referência, como termômetros infravermelhos e analisadores de vibração profissional.

TESTE DE DESALINHAMENTO DO MOTOR

O desalinhamento do motor consiste na principal causa de falha mecânica, ocasionando o aumento da vibração, sobreaquecimento dos componentes, redução da vida útil e elevação dos custos de manutenção. A figura 2, mostra como foi realizada a simulação desta falha.

Figura 2 - Desalinhamento radial em um acoplamento



Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 2 ilustra um desalinhamento radial entre o motor em um acoplamento que o conecta a uma bomba de vácuo. Esse desalinhamento ocorre quando os eixos de rotação da bomba e do motor são paralelos, mas não coincidentes, ocasionado uma distância entre eles.

TESTE DE SOBRECARGA DO MOTOR

As sobrecargas em motores elétricos são uma das causas que ocasionam falhas prematuras em sistemas industriais, trazendo como consequência, em 35% dos casos, a queima das bobinas internas do motor, 40% provocam danos nos rolamentos, além de levarem a uma redução de 50% na vida útil do equipamento. As sobrecargas são analisadas com base em padrões típicos, tais como sobrecarga contínua e sobrecarga intermitente. A sobrecarga

contínua ocorre quando a corrente está acima do nominal, em uma faixa de 10% a 15%, levando ao aumento gradual da temperatura, sendo o subdimensionamento e aumento da carga suas principais causas. A sobrecarga intermitente ocorre através dos picos intermitentes repetitivos, rápida variação da temperatura, partidas frequentes e bloqueios mecânicos nos motores.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um sistema de monitoramento para diagnóstico e falha de condições operacionais em motores industriais, com foco na detecção de falhas precoces através do desalinhamento e sobrecargas. O sistema se mostrou uma solução técnica viável, através da eficácia da aquisição de dados críticos, com uma arquitetura robusta para ambientes industriais e uma taxa de transmissão estável. A implementação desta solução visa contribuir com o aumento da disponibilidade dos equipamentos, reduzir o consumo energético dos sistemas motrizes e reduzir os índices de trocas prematuras, além de melhorar os indicadores de sustentabilidade industrial. Este projeto abre novas perspectivas para o avanço dos estudos na convergência entre IoT e inteligência artificial, uma vez que os resultados obtidos validam o potencial da abordagem proposta como ferramenta estratégica da Indústria 4.0.

AGRADECIMENTOS

Parte dos resultados apresentados neste trabalho foram obtidos através do PROJETO ARANOUÁ, apoiado pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda. sob os auspícios da Lei Federal nº 8.387/1991.

REFERÊNCIAS

ABOUAIANA, A.; KHAMIS, A. Agile approach to sustainable-decarbonized strategic transition mediterranean facility management industries: Novel case study in Egypt. *In*: SAYIGH, A.; TROMBADORE, A.; CALCAGNO, G. (Eds). **Getting to zero-beyond energy transition towards carbon-neutral Mediterranean cities**. Cham: Springer, 2025. p. 1117-1137. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82323-7_85.

ALGHAMDI, T. A.; KHALID, R.; JAVAID, N. A survey of blockchain based systems: Scalability issues and solutions, applications and future challenges. **IEEE Access**, 2024. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3408868>.

ARNOLD, R. D.; WADE, J. P. A complete set of systems thinking skills. **Insight**, v. 20, n. 3, p. 9-17, 2017. <https://doi.org/10.1002/inst.12159>.

BARBOSA, V. *et al.* Performance evaluation of IoT-based industrial automation using edge, fog, and cloud architectures. **Journal of Network and Systems Management**, v. 33, n. 1, p. 1-25, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10922-024-09893-x>.

BHUIYAN, S, Y. *et al.* AI-driven optimization in renewable hydrogen production: A review. **American Journal of Interdisciplinary Studies**, v. 6, n. 1, p. 76-94, 2025. <https://doi.org/10.63125/06z40b13>.

CAI, X. *et al.* Precise segmentation on poly-yolo, YoloV5 and FCN. *In*: International Conference on Edge Computing and IoT. **Cham: Springer Nature Switzerland**, v. 478, p. 54-68, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28990-3_5.

CHAMLERTWAT, W.; HOONSOPON, D.; PUNGPAPONG, V. Building blocks of organizational capability for enhancing sustainable innovation in emerging economies. **Review of Integrative Business and Economics Research**, v. 14, n. 2, p. 166-182, 2025.

GÁL, I.; TICK, A. Modernization in the importing procedure of the automotive industry. *In*: **2025 IEEE 23rd World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)**. IEEE, 2025, Stará Lesná, Slovakia, 23-25 January, 2025, p. 000083-000088. <https://doi.org/10.1109/SAMI63904.2025.10883328>.

HALL, J. L. Innovation in public works management: From failure to phenomenal. **Public Works Management & Policy**, v. 30, n. 1, p. 3-11, 2025. <https://doi.org/10.1177/1087724X241298455>.

HASAN, M. M.; APARISI-TORRIJO, S.; GONZÁLEZ-LADRÓN-DE-GUEVARA, F. Change management and organizational performance: current key trends. **Cogent Business & Management**, v. 12, n. 1, p. 2478447, 2025. <https://doi.org/10.1080/23311975.2025.2478447>.

ISLAM, T. *et al.* A review of the industry 4.0 to 5.0 transition: exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and human-machine collaboration. **Machines**, v. 13, n. 4, p. 267, 2025. <https://doi.org/10.3390/machines13040267>.

JING, P. *et al.* Revisiting automotive attack surfaces: A practitioners' perspective. *In: 2024 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*. IEEE, San Francisco, USA, 05 September, 2024. p. 2348-2365. <https://doi.org/10.1109/SP54263.2024.00080>.

KIM, D.; JUNG, S.; KIM, E. Distributed leadership in inter-organisational public research and development teams. **European Journal of Innovation Management**, v. 28, n. 4, p. 1709-1739, 2025. <https://doi.org/10.1108/EJIM-07-2023-0591>.

LIU, H.-h. *et al.* Investigating the research and development performance of Chinese industry: A two-stage prospect data envelopment analysis approach. **European Journal of Operational Research**, v. 323, n. 5, p. 1040-1059, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.01.002>.

MUNONYE, W. C. Circular economy meets smart energy grids: designing systems for resource optimization and carbon reduction. **Frontiers in Sustainability**, v. 6, p. 1568254, 2025. <https://doi.org/10.3389/frsus.2025.1568254>.

OLAYA, S. S. P. *et al.* Flexible reconfiguration of industrial 5G networks over asset administration shell. *In: 2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. IEEE, Padova, Italy, 10-13 September, 2024. p. 1-8. <https://doi.org/10.1109/ETFA61755.2024.10710836>.

PIRANI, M. *et al.* A blockchain-driven cyber-systemic approach to hybrid reality. **Systems**, v. 13, n. 4, p. 294, 2025. <https://doi.org/10.3390/systems13040294>.

QIU, F. *et al.* A review on integrating IoT, IIoT, and Industry 4.0: A pathway to smart manufacturing and digital transformation. **IET Information Security**, v. 2025, n. 1, p. 9275962, 2025. <https://doi.org/10.1049/ise2/9275962>.

RAHMAN, M. *et al.* Identification and prioritization of barriers to Industry 4.0 adoption in the context of food and beverage industries of Bangladesh. **Benchmarking: An International Journal**, v. 32, n. 2, p. 757-783, 2025. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2023-0371>.

RAMSEY, A.; TRUBIANO, J. Drug allergy: Change is the only constant. **The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice**, v. 13, n. 5, p. 1027-1028, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2025.02.005>.

ROJAS, L.; YEPES, V.; GARCIA, J. Complex dynamics and intelligent control: Advances, challenges, and applications in mining and industrial processes. **Mathematics**, v. 13, n. 6, p. 961, 2025. <https://doi.org/10.3390/math13060961>.

SANTOS, C. N. *et al.* Driving the development and improvement of occupational health and safety through Industry 4.0 technologies. **IEEE Access**, 2025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3567188>.

SHARMA, S. K. *et al.* The role of IoT in optimizing operations in the oil and gas sector: A review. **Transactions of the Indian National Academy of Engineering**, v. 9, n. 2, p. 293-312, 2024. <https://doi.org/10.1007/s41403-024-00464-9>.

SILVA, A.; CARDOSO, A. J. Marques. Systemic approaches to coopetition: Technology and service integration in dynamic ecosystems among SMEs. **Systems**, v. 13, n. 2, p. 97, 2025. <https://doi.org/10.3390/systems13020097>.

SINGH, R. *et al.* Integrating Industry 4.0, circular economy, and green HRM: A framework for sustainable transformation. **Sustainability**, v. 17, n. 7, p. 3082, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17073082>.

SIZAN, Najmus Sakib *et al.* Evaluating blockchain platforms for iot applications in industry 5.0: A comprehensive review. **Blockchain: Research and Applications**, *In: Press*, Journal Pre-proof, p. 100276, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2025.100276>.

SUÁREZ-BRITO, P. *et al.* Creative thinking as a relevant element for Industry 4.0 professionals: A study in Mexican university students. **Journal of Latinos and Education**, v. 24, n. 1, p. 48-61, 2025. <https://doi.org/10.1080/15348431.2024.2355146>.

SUH, Joanne *et al.* Managing Change in family medicine residency programs. *In: KELLERMAN, R.; IRWIN, G. (Eds). Graduate medical education in family medicine: From basic processes to true innovation.* Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, v. 2, p. 431-442. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70741-4_37.

SUNOTO, S. P.; DARYANTO, E. The role of strategic leadership in building organizational resilience. **International Journal of Integrative Sciences**, v. 4, n. 3, p. 517-532, 2025. <https://doi.org/10.55927/ijis.v4i3.89>.

SUMÁRIO

TORBACKI, W. Towards sustainable Industry 4.0: An MCDA-based assessment framework for manufacturing and logistics. **Sustainability**, v. 17, n. 11, p. 5082, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17115082>.

VAN ALEBEEK, H. *et al.* The only constant is change: Stable vs. variable aspects of food approach bias relate differently to food craving and intake. **Appetite**, v. 204, p. 107726, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107726>.

VAN DIJK, L.; VERVLOET, M. Implementation of interventions to enhance quality use of medicines. **Drug Utilization Research: Methods and Applications**, p. 517-524, 2024. <https://doi.org/10.1002/9781119911685.ch51>.

VENDRELL-HERRERO, F.; VAILLANT, Y.; BUSTINZA, O. F. Scalability in incumbent firms: The case of Nvidia. **Long Range Planning**, v. 58, n. 4, p. 102540, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2025.102540>.

VERNADAT, F. *et al.* **Interoperability principles and standards**: Applications to collaborative and automated systems. Cham: Springer Nature, 2025, v 16, p. 81-100. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81497-6_3.

WANG, Y. *et al.* Explainable AI for predictive maintenance: A SHAP-based approach for fault classification. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 66, p. 69-83, 2023.

ZAGER, M.; SIEBER, C.; FAY, A. Towards semantic interoperability: An information model for autonomous mobile robots. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 110, n. 3, p. 123, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02159-3>.

ZHAN, L. U. *et al.* Edge-computing architectures for industrial IoT: A survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 1, p. 208-227, 2022.

ZHANG, W. *et al.* Hybrid CNN-LSTM models for vibration-based fault detection in electric motors. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 183, 109602, 2023.

ZHANG, W. *et al.* Systems approach to predictive maintenance in smart manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 62, p. 181-196, 2022.

ZHAO, M. *et al.* MEMS-based smart sensors for real-time motor condition monitoring. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 344, 113702, 2023.

ZOU, W. *et al.* Factors influencing the acceptance of Industry 4.0 technologies in various sectors: A systematic review and meta-analysis. **Applied Sciences**, v. 15, n. 9, p. 4866, 2025. <https://doi.org/10.3390/app15094866>.

3

David Laureano dos Santos Figueira

Vitor Bremgartner da Frota

Alyson de Jesus dos Santos

Hugo Alves Velozo

Daniel Nascimento-e-Silva

**SISTEMA DE ACESSO
VEÍCULAR UTILIZANDO
VISÃO COMPUTACIONAL
E INTERNET DAS COISAS**

SUMÁRIO

RESUMO:

O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de sistemas de controle de acesso físico cada vez mais avançados, como uma ampla variedade de dispositivos eletrônicos os sistemas mais recentes destacam-se pelo reconhecimento características específicas. Este artigo apresenta os processos criação de um sistema de controle de acesso veicular baseado a identificação de placas de veículos brasileiros, utilizando técnicas de visão computacional e reconhecimento de caracteres, integrando também um sistema web para o controle gerenciamento de dados. O sistema foi desenvolvido utilizando Jetson Nano, câmera, MariaDB para gerenciamento de banco de dados, linguagens de programação Python, HTML, CSS e PHP, EasyOCR para identificação de caracteres e o YOLOv8 para identificação de placas veiculares. A arquitetura do sistema compreende um servidor Web para gerenciamento de acesso e a identificação e reconhecimento de placas em tempo real. Os resultados obtidos foram satisfatórios, testado com um conjunto de 40 imagens de diferentes qualidades, angulações e distâncias, o sistema apresentou uma taxa de acurácia de 77,5% na identificação correta das placas, demonstrando resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Internet das coisas, YOLO, EasyOCR, reconhecimento, placas veiculares.

INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia no setor de segurança e a popularização da Internet das Coisas (IoT), o uso de dispositivos inteligentes tem se expandido em diversas aplicações, devido à sua praticidade, eficiência e simplicidade. Nesse contexto, diferentes tipos de dispositivos são desenvolvidos para otimizar o controle de acesso físico (Qiu *et al.*, 2020). Este acesso acontece através de pessoas (i.e., guardas e/ou recepcionistas), meios mecânicos, como fechaduras e chaves, ou sistemas eletrônicos. Dentre estes últimos, destacam-se os sistemas de senha, cartão de acesso via *Radio Frequency Identification* (RFID) e os baseados em visão computacional com base em características específicas (Qiu *et al.*, 2020; Pistorius *et al.*, 2023). Os sistemas baseados em visão computacional podem ser vistos em dois modos, os que utilizam traços biológicos e os que identificam características de objetos.

Os sistemas de reconhecimento baseado em características de objetos mais comuns utilizam abordagens que extraem e analisam características distintivas de um objeto, como bordas, formas, texturas, ou pontos específicos (Wang *et al.*, 2022). No reconhecimento de objetos o modelo mais popular é o *You Only Look Once* (YOLO) devido sua velocidade de detecção e acurácia (Fakhrurroja *et al.*, 2023; Cai *et al.*, 2022). No âmbito de segurança, temos sistemas de controle de acesso, estes sistemas permitem a identificação de determinado objeto comparando as características identificadas com dados previamente cadastrados guardados em um banco de dado. Nesse modelo de controle de acesso, o usuário reivindica uma identidade que pode ser verificada e, com base na comparação com uma referência previamente obtida e registrada, essa identidade pode ser aceita (caso seja genuína) ou rejeitada (se for considerada um impostor) (Qiu *et al.*, 2020).

Na identificação de placas veiculares, uma das abordagens mais eficazes é a utilização de modelos de *Optical Character Recognition* (OCR) (Azadbakht *et al.*, 2022), ou Reconhecimento Óptico de Caracteres, que são algoritmos desenvolvidos para converter texto presente em imagens ou documentos digitalizados em texto editável (Sarika *et al.*, 2021). Entre os modelos de OCR mais reconhecidos estão o Tesseract OCR, o EasyOCR e o PaddleOCR (Reddy *et al.*, 2024; Sarkar *et al.*, 2024). Além desses, há serviços, como o Google Cloud Vision OCR e o Microsoft Azure OCR, que oferecem mais escalabilidade e podem ser integrados com outros serviços para otimizar a leitura de texto em diferentes condições ambientais (Valentino; Susetyo, 2023). A literatura recente apresenta uma ampla variedade de modelos, ferramentas e técnicas utilizadas no reconhecimento de placas veiculares. Entre essas, destaca-se o uso do YOLO em suas diversas versões, bem como do EasyOCR, ambos frequentemente citados por sua eficiência e desempenho consistente em estudos atuais, além disso, é visto que o uso combinado de diferentes ferramentas, sendo uma tendência para o alcance de resultados otimizados em cenários práticos. Atualmente, o uso de dispositivos eletrônicos de controle de acesso tem se popularizado em diversos setores, como residências, comércios e lojas, devido segurança e eficiência desses sistemas. Neste contexto, o presente artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de controle de acesso veicular baseado na identificação de placas de veículos brasileiros, utilizando técnicas de visão computacional e reconhecimento de caracteres.

SUMÁRIO

Tabela 1 - Sumário de artigos

Referência	Acurácia	Modelos, ferramentas e técnicas	Origem
Tham; Tan (2022)	78,23%	YOLOv4-tiny e Tesseract OCR	Malásia
Khor <i>et al.</i> (2024)	94,00%	YOLOv8, Easy-OCR, and CNN	Malásia
Vedhaviyassh <i>et al.</i> (2022)	77,80%	OCR	Espanha

Vedhaviyassh <i>et al.</i> (2022)	95,00%	ALPR, Easy OCR	Índia
Vedhaviyassh <i>et al.</i> (2022)	90,00%	Tesseract OCR	Índia
Gnanaprakash <i>et al.</i> (2021)	90,00%	ImageAI library	Índia
Saad <i>et al.</i> (2024)	99,00%	Deep learning, OpenCV, YOLOv8, PaddleOCR	Iraque
Rawat <i>et al.</i> (2023)	97,00%	Py-tesseract	Índia
Le; Pham (2024)	97,00%	YOLOv8 and OCR	Vietnã
Patil <i>et al.</i> (2023)	95,60	Uma rede neural convolucional (CNN)	Índia
Sania <i>et al.</i> (2023)	93,55%	Técnicas de processamento e OCR	Indonésia

Fonte: dados coletados pelos autores.

O sistema opera de forma independente após o cadastro da placa do veículo. Utilizando o modelo YOLO V8, a placa é identificada e extraída da imagem, habilitando a aplicação de um OCR para converter os caracteres e números da placa em texto. Além disso, o sistema conta com uma interface de gerenciamento de usuários, acessível via plataforma web, que permite ao administrador visualizar registros de tentativas de acesso, bem como adicionar, editar ou excluir dados de usuários. Para a implementação do sistema, serão utilizados um Jetson Nano e uma câmera, garantindo o processamento local das imagens e a eficiência na identificação em tempo real. A Tabela 1 sintetiza estudos semelhantes publicados recentemente.

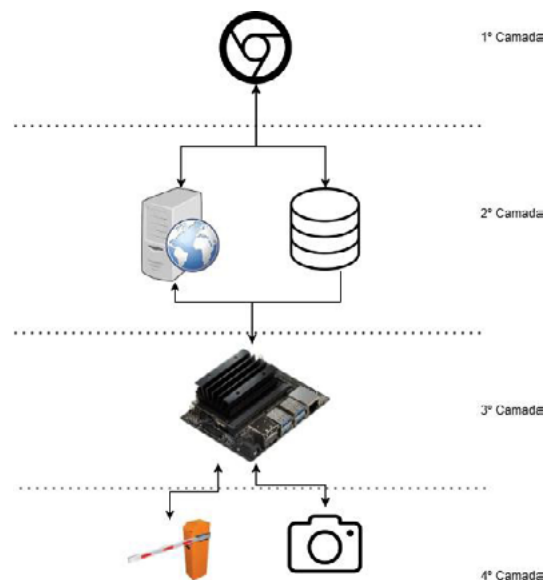
MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, são apresentados os principais componentes do sistema desenvolvido, detalhando seu funcionamento e as tecnologias utilizadas. Para a construção do sistema, utilizamos

Python 3.10.0 como linguagem base, com a integração de diversos módulos fundamentais para a implementação das funcionalidades propostas. Entre eles, destacam-se: a) OpenCV (cv2): para manipulação e processamento de imagens; b) YOLOv8 (Ultralytics): para a detecção eficiente de objetos, com foco em placas veiculares; e EasyOCR: para o reconhecimento óptico de caracteres nas placas identificadas.

ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA

A visualização do sistema pode ser vista em camadas, conforme ilustrado na Figura 1, que descreve a estrutura do sistema, organizada em quatro camadas principais. A primeira camada é a interface web, que permite o gerenciamento geral do sistema. Através desta interface, administradores podem acessar as funcionalidades de controle, visualizar logs de acesso e realizar a gestão de usuários. A segunda camada abrange as operações administrativas, como adicionar, editar ou remover usuários, interagindo diretamente com o banco de dados. Na terceira camada, ocorre o gerenciamento e o funcionamento geral do sistema, incluindo a coordenação dos periféricos, a operação do servidor web e o gerenciamento do banco de dados. Esta camada garante que os dispositivos de entrada e saída, assim como a infraestrutura de rede, estejam em perfeito funcionamento. Por fim, a quarta camada é composta pelos periféricos, como a câmera de captura e o portão de acesso, que são os componentes responsáveis pela detecção e reconhecimento dos veículos. Esses dispositivos servem como a entrada e saída de dados para o Jetson nano sendo responsáveis pela identificação e controle de acesso. Além dessa divisão em camadas, o sistema pode ser visto em duas grandes partes: a primeira parte, dedicada à administração e gestão de usuários; e a segunda parte, voltada para a verificação e o controle de acesso dos veículos.

Figura 1 - Arquitetura do Sistema

Fonte: elaborado pelos autores.

A estrutura apresentada na Figura 1 ilustra como o sistema foi projetado para funcionar de maneira modular, garantindo organização e eficiência em cada etapa do processo. A divisão em camadas reflete uma abordagem sistemática, onde cada componente possui funções bem definidas, integrando tecnologias de hardware e software para controle de acesso veicular. A estrutura foi desenvolvida para permitir a escalabilidade do sistema, isto é, como facilidade é possível adicionar mais formas de acesso. O funcionamento ocorre em etapas bem delimitadas: A câmera, parte dos periféricos, realiza a detecção e extração das placas veiculares. Em seguida, o sistema executa o reconhecimento de caracteres da placa, utilizando técnicas de visão computacional e OCR. As informações extraídas são enviadas ao banco de dados, onde são comparadas com registros previamente cadastrados. Dependendo da verificação, o

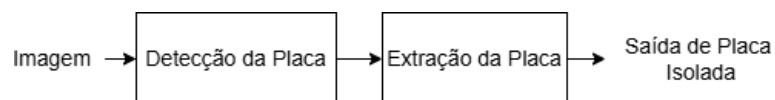
acesso é liberado ou negado, com os dados armazenados mantendo o histórico de acesso. A interface web permite que administradores gerenciem usuários, visualizem logs e ajustem configurações, centralizando o controle em um painel intuitivo. Essa estrutura proporciona um sistema eficiente, proporcionando robustez no contexto de segurança e de fácil gerenciamento.

Por meio dessas etapas, o sistema integra dispositivos de hardware, como o sensor de câmera, com atuador, representados pela cancela. A capacidade de computação do Jetson nano realiza o processamento dos dados capturados, enquanto a comunicação em rede local viabiliza a gestão administrativa centralizada. Essa combinação garante uma solução completa e integrada para o controle de acesso, unindo automação, processamento inteligente e conectividade.

EXTRAÇÃO DE PLACAS

A aquisição das imagens é feita pelo OpenCV, para a extração de placas veiculares, utiliza-se o modelo YOLO V8, que possibilita a identificação dos contornos da placa na imagem. Esse modelo realiza a detecção em tempo real, localizando a região onde a placa está posicionada com alta precisão. A partir dessa identificação, é possível isolar e extrair a área da placa para posterior processamento. O funcionamento detalhado desse processo pode ser observado na Figura 2, onde é ilustrada a sequência de etapas envolvidas na detecção e extração da placa a partir de imagens capturadas

Figura 2 - Fluxograma de extração das placas



Fonte: elaborado pelos autores.

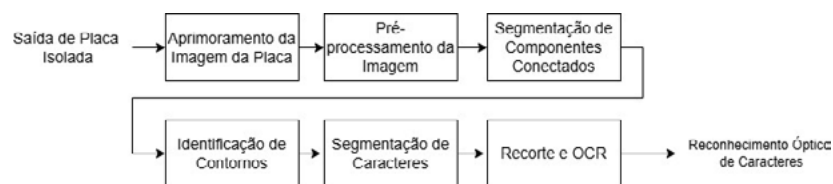
O fluxo de processamento descrito na Figura 2 ilustra a detecção e extração de placas veiculares. Ela demonstra como o modelo YOLOv8, em conjunto com o OpenCV, identifica com precisão a área correspondente à placa em uma imagem capturada, destacando como cada processo ocorre individualmente. O sistema utiliza o OpenCV para adquirir as imagens capturadas pela câmera e, em seguida, aplica o modelo YOLOv8 para detectar a região onde a placa está localizada. Esse modelo analisa os contornos e padrões característicos das placas veiculares, permitindo um reconhecimento em tempo real. Após a detecção, o sistema isola a área identificada, extraindo-a como uma imagem independente para o processamento subsequente, como o reconhecimento de caracteres. Esse processo garante que apenas a área relevante da imagem, ou seja, a placa, seja analisada nas etapas seguintes.

RECONHECIMENTO DE CARACTERES (OCR)

O reconhecimento dos caracteres da placa isolada, passa por um processo de 6 etapas antes da execução do reconhecimento propriamente dito. Essas etapas foram ajustadas para lidar com as características específicas das placas brasileiras, com o modelo de placa Mercosul e placa cinza, que variam o formato alfanumérico padrão e possuem elementos visuais distintos. A Figura 3 apresenta o fluxograma detalhado desse processo, ilustrando cada passo necessário para preparar a placa capturada até o momento do reconhecimento final dos caracteres. Após a extração da placa, a primeira etapa é o aprimoramento da imagem, essa melhoria é feita através da aplicação de filtros com nitidez que visa realçar os detalhes e o filtro bilateral que reduz o ruído sem perder as características importantes da placa. A próxima etapa é o pré-processamento da imagem, que converte a imagem para escala de cinza, com o objetivo de reduzir a complexidade da imagem eliminando as informações de cor. Além

disso, são aplicadas as técnicas de: Desfoque Gaussiano: para suavizar a imagem, Limite Adaptativo: para binarizar a imagem, o que, em conjunto visam ajudar na detecção de bordas e formas para facilitar a segmentação dos caracteres. A terceira etapa, Segmentação de Componentes Conectados, tem como objetivo facilitar a identificação dos caracteres, ela é responsável por realizada uma análise de componentes conectados, cada componente, que pode ser um caractere potencial é identificado através da análise de conectividade. Os componentes são filtrados por tamanho usando limites inferior e superior de número de pixels. Apenas os componentes que caem dentro desses limites são considerados caracteres válidos. A quarta e quinta etapa, Identificação de Contornos e Segmentação de Caracteres, delimitam os contornos dos componentes (caracteres) selecionados, caixas delimitadoras são desenhadas ao redor de cada caractere. Essas caixas são ordenadas primeiro pela altura e depois pela largura, para assegurar que os caracteres sejam selecionados na ordem correta.

A sexta e última etapa, Recorte e OCR, faz o recorte de cada caractere dentro das caixas delimitadoras, definindo a região de interesse (ROI). A região de interesse também é processada, é feito um ajuste de margens para garantir que todos os detalhes do caractere estejam incluídos no recorte. Para ajudar na identificação, as ROIs são redimensionadas e centralizadas em um fundo maior. Por fim, tem-se o Reconhecimento Óptico de Caracteres, que utiliza o EasyOCR para reconhecer os caracteres dentro de cada ROI. No contexto de detecção de placas brasileiras, são realizadas otimizações na identificação, são estabelecidas listas de caracteres permitidos, que podem incluir letras ou número, dependendo da posição do caractere na placa: a) as primeiras três posições identificam somente letras; b) as últimas duas posições identificam números; e c) as posições intermediárias aceitam letras e números.

Figura 3 - Fluxograma de reconhecimento de caracteres

Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 3 ilustra o fluxograma completo das etapas envolvidas no processamento e reconhecimento de caracteres em placas veiculares isoladas. O diagrama organiza de forma sequencial as operações realizadas, desde o aprimoramento da imagem até a etapa final de reconhecimento óptico dos caracteres. O processo é estruturado em seis etapas principais: a) Aprimoramento da Imagem: aplicação de filtros para destacar detalhes e reduzir ruídos; b) Pré-Processamento: conversão para escala de cinza, suavização e binarização para facilitar a detecção de bordas; c) Segmentação de Componentes Conectados: identificação e filtragem de possíveis caracteres com base em tamanho; d) Identificação de Contornos e Segmentação: delimitação dos caracteres por contornos e ordenação das caixas delimitadoras; e) Recorte e ROI: definição de regiões de interesse (ROIs) e ajuste das imagens para leitura e f) Reconhecimento por OCR: utilização do EasyOCR para identificar os caracteres nas ROIs, com validações específicas para o formato de placas brasileiras. Esse fluxograma foi projetado para garantir uma abordagem sistemática e eficiente no reconhecimento de placas veiculares, visando diminuir erros e aumentar a precisão do sistema. As etapas são integradas para lidar com os desafios comuns da detecção de caracteres em ambientes variados, como placas com ruídos, diferentes estilos de fontes ou condições de iluminação adversas. Além disso, o uso de regras específicas para placas brasileiras aumenta a confiabilidade na validação final, tornando o sistema robusto para o contexto nacional.

BANCO DE DADOS DE PLACAS E USUÁRIOS

O banco de dados do sistema foi elaborado utilizando o MariaDB, um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional conhecido por sua eficiência, segurança e compatibilidade com diversas plataformas, incluindo o Jetson Nano. Essa escolha foi motivada pelo alto desempenho do MariaDB em operações de leitura e escrita, sua facilidade de integração com aplicações em Python e sua leveza, características essenciais para projetos desenvolvidos em dispositivos embarcados, como o Jetson Nano. A tabela 1 apresenta as principais características do banco de dados de usuários.

Tabela 2 - Características do banco de dados de usuários

Coluna	Descrição
ID	Enumera os usuários existentes.
Nome	Nomeia cada usuário
Placa	Armazena a placa do veículo
Administrador	Armazena o tipo de usuário
Senha	Armazena a senha para administradores (somente os que a possuem)
Data	Armazena a data de criação do usuário

Fonte: elaborado pelos autores.

A tabela apresentada descreve a estrutura utilizada para o banco de dados, visando garantir as informações essenciais para o gerenciamento de usuários no sistema. Cada coluna armazena informações específicas relacionadas aos usuários, organizando os dados de forma clara e acessível. Essa organização permite que o sistema funcione de forma eficiente e segura. A estrutura do banco de dados garante que apenas usuários autorizados tenham acesso ao sistema e possibilita a personalização e rastreabilidade das interações. A divisão entre administradores e usuários comuns assegura o controle hierárquico, enquanto o registro de placas e datas fortalece

o controle de acesso e a auditoria. Essa estrutura objetiva manter a integridade, a segurança e a funcionalidade do sistema.

INTERFACE WEB DE GERENCIAMENTO

O servidor web foi criado para fornecer informações sobre usuários cadastrados e oferecer recursos gerenciáveis. Para alcançar esse objetivo, foram utilizadas as linguagens de programação PHP (Hypertext Preprocessor), HTML (HyperText Markup Language) e CSS (Cascading Style Sheet). A banco de dados e o servidor web trabalham de forma integrada para permitir o gerenciamento completo dos usuários e do sistema. O servidor web foi desenvolvido utilizando as linguagens PHP, HTML e CSS para fornecer uma interface amigável e funcionalidades que otimizam o controle administrativo. A interface web criada com PHP para lógica do servidor, HTML para estrutura da página e CSS para estilização fornece aos administradores as seguintes funcionalidades:

Login: o sistema verifica as credenciais (nome de usuário e senha) inseridas pelo administrador ou usuário autorizado. O campo "Administrador" na tabela define os privilégios de cada usuário, restringindo o acesso às áreas administrativas para aqueles com as permissões adequadas. Adicionar Novo Usuário: A interface inclui um formulário para inserir dados como nome, placa, tipo de usuário (administrador ou padrão) e data de criação. Esses dados são enviados ao servidor, que os insere na tabela do banco de dados utilizando comandos SQL, garantindo consistência e integridade dos registros. Editar Usuário: Um painel de gerenciamento lista os usuários existentes, permitindo a edição de informações como nome, placa ou privilégios. As alterações são realizadas diretamente no banco de dados, com validações para garantir a segurança e evitar inconsistências. Remover Usuário: O administrador pode excluir usuários por meio de comandos específicos na interface. Antes da exclusão, o

sistema pode solicitar confirmações adicionais para evitar remoções acidentais. *Registro de Acessos*: A interface fornece acesso aos logs, que incluem informações sobre as interações com o sistema, como tentativas de login, acessos liberados ou negados, e alterações feitas nos dados. Esses registros visam complementar os aspectos de segurança, ajudando em processos como auditoria e monitoramento do uso do sistema. Essa integração entre o servidor web e o banco de dados garante um gerenciamento centralizado e eficiente. O sistema é essencial para organizar os usuários, acompanhar suas atividades e manter a segurança nas operações, possibilitando o controle de acesso confiável e gerenciamento intuitivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo deste trabalho. Para facilitar a compreensão, o processo será ilustrado por meio de uma imagem representativa, que, por questões de privacidade, não exibirá todos os caracteres da placa. Essa abordagem visa demonstrar de forma clara e objetiva o cumprimento dos objetivos estabelecidos ao longo do desenvolvimento e representam o comportamento esperado em ambos os modelos de placas brasileiras.

EXTRAÇÃO DAS PLACAS

O primeiro objetivo do projeto foi a identificação e extração das placas veiculares. Para alcançar esse resultado, utilizou-se o YOLOv8, que demonstrou precisão ao identificar e extrair, de forma individual, todas as placas nas imagens testadas. A Figura 4 ilustra o resultado obtido a partir de uma imagem exemplo, destacando o funcionamento do modelo.

Figura 4 - Identificação e extração de placa da imagem



Fonte: fotografia capturada pelos autores.

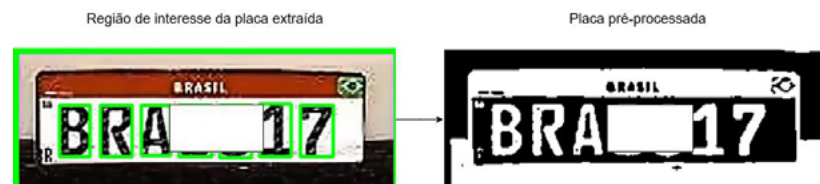
A Figura 4 apresenta o resultado da identificação e extração de uma placa veicular utilizando o modelo YOLOv8. Na imagem, é possível observar a delimitação precisa da região de interesse ao redor da placa, seguida por sua extração. Esse resultado evidencia a alta capacidade do modelo em localizar com precisão placas veiculares, mesmo em diferentes cenários. Além de sua eficiência, o YOLOv8 destaca-se pela rapidez na detecção e pela possibilidade de realizar esse processo em tempo real.

RECONHECIMENTO DOS CARACTERES

O próximo passo envolveu o reconhecimento dos caracteres individuais presentes na placa, iniciando com a identificação precisa das regiões de interesse (ROI) correspondentes a cada elemento. Para aprimorar a visualização, foram aplicadas técnicas de processamento de imagem, como conversão para escala de cinza, suavização com filtros Gaussianos e limiarização adaptativa. Essas

etapas foram essenciais para eliminar ruídos e destacar os caracteres, criando uma imagem mais limpa e adequada para as próximas fases de segmentação e reconhecimento. A Figura 5 apresenta as melhorias implementadas na imagem da placa, destacando como as técnicas de processamento aplicadas reduziram as interferências e realçaram os caracteres. A comparação com o estado original da imagem evidencia as otimizações, que resultaram em um contraste mais definido e em contornos claros, essenciais para o sucesso das etapas subsequentes do sistema.

Figura 5 - Identificação da região de interesse e processamento da imagem



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 5 ilustra o processo bem-sucedido de identificação das regiões de interesse na placa e o pré-processamento aplicado à sua imagem para facilitar a segmentação dos caracteres. Técnicas de processamento de imagem, foram utilizadas para realçar os caracteres e garantir uma identificação precisa. Cada ROI foi definido com base em um tamanho pré-estabelecido, considerando proporções adequadas para evitar falsos positivos e isolar apenas os elementos relevantes. As ROIs são identificadas sequencialmente, da esquerda para a direita, assegurando que cada caractere esteja dentro das dimensões esperadas antes de ser extraído. Além disso, as otimizações realizadas no pré-processamento são fundamentais para garantir a segmentação precisa dos caracteres, mesmo em condições desafiadoras, como baixa resolução, iluminação irregular ou ângulos inclinados.

Em seguida, os caracteres são identificados por meio do EasyOCR, uma ferramenta de reconhecimento óptico de caracteres que analisa individualmente de cada elemento isolado na placa. O EasyOCR analisa as regiões previamente segmentadas, reconhecendo os caracteres com base em modelos treinados para lidar com diferentes fontes e variações de texto. A Figura 6 ilustra esse processo, destacando como o sistema consegue identificar com precisão os caracteres.

Figura 6 - Reconhecimento dos caracteres

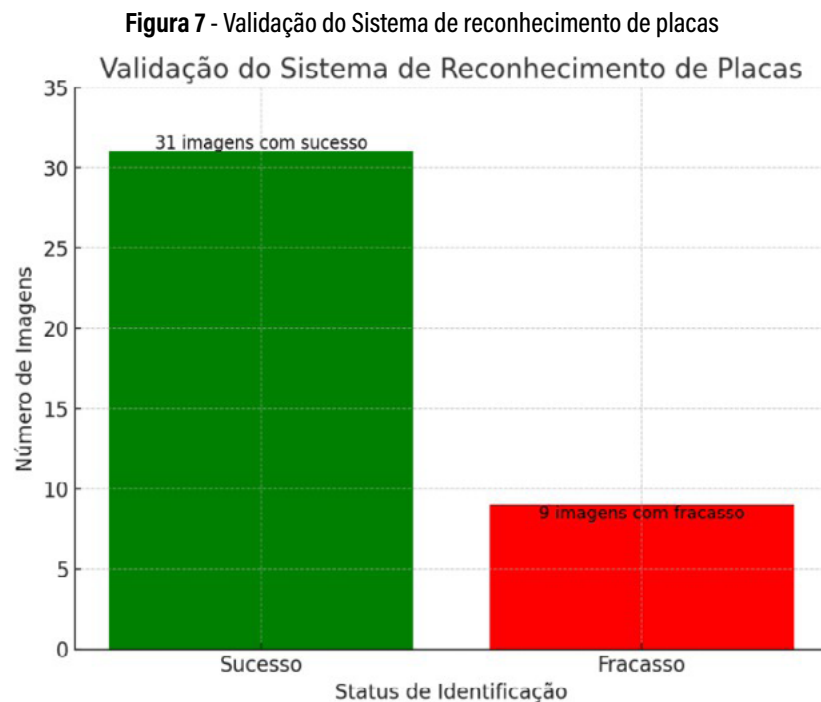


Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 6 ilustra o processo de reconhecimento individual dos caracteres após a segmentação da placa. Nessa etapa, cada caractere, já isolado e destacado, é analisado pelo modelo EasyOCR, que realiza o reconhecimento óptico de caracteres com base em padrões previamente treinados. O sistema identifica cada elemento de forma individual, considerando suas características específicas e a sequência do texto. O reconhecimento individual é realizado de forma sequencial, visando que o sistema consiga identificar com precisão cada caractere em diversas condições.

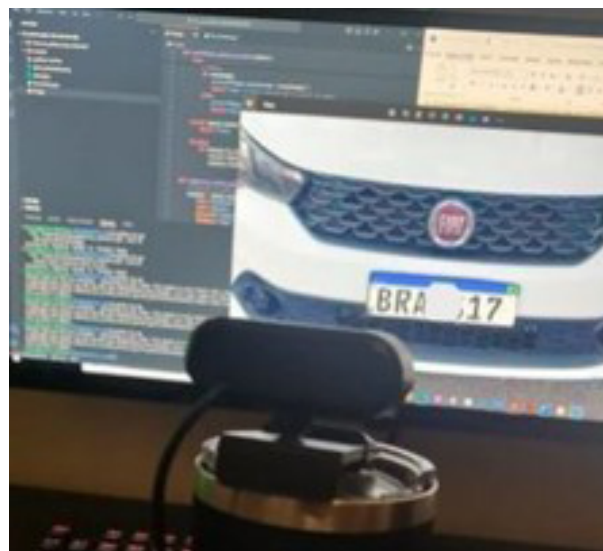
VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A validação enfrentou desafios relacionados à base de dados, dificultando a obtenção de uma métrica totalmente confiável. Para realizar os testes, foram utilizadas 40 imagens disponíveis na internet, com variações de resolução, angulação e distância.



Fonte: dados coletados pelos autores.

A figura 7 representa a validação do sistema de reconhecimento de placas com base nas 40 imagens utilizadas para os testes. Ele ilustra o número de imagens em que o sistema teve sucesso (31 imagens) e as imagens em que não obteve êxito (9 imagens), resultando em uma eficiência de 77,5%. O gráfico utiliza barras coloridas para distinguir entre os casos de sucesso (verde) e fracasso (vermelho). A validação completa do sistema envolveu não apenas a identificação da placa em tempo real, mas também a integração com o sistema de controle de acesso, utilizando uma câmera para capturar as imagens. O sistema web foi desenvolvido para fornecer uma interface intuitiva que possibilita o gerenciamento e visualização do controle de acesso.

Figura 8 - Ambiente de teste

Fonte: fotografia capturada pelos autores.

A Figura 8 apresenta o ambiente de testes utilizado para a validação do sistema, detalhando a configuração e os dispositivos empregados no processo. Para a realização dos testes, foi utilizada uma câmera conectada ao Jetson Nano, posicionada de forma estratégica para capturar imagens de placas veiculares. A câmera foi direcionada para um monitor, onde foram exibidas as imagens das placas para que o sistema pudesse realizar a identificação. Este ambiente foi montado para simular condições reais de uso, com o objetivo de avaliar a precisão do sistema em tempo real, considerando fatores como ângulos e distâncias variáveis.

A Figura 9 apresenta o funcionamento detalhado da interface web desenvolvida para administração do sistema. Nela, os administradores têm acesso a uma visão geral de todos os usuários cadastrados, listados com suas respectivas informações. Além disso,

a interface oferece diversas funcionalidades administrativas, como a possibilidade de editar dados de um usuário existente, excluir registros, adicionar novos usuários ao sistema e consultar um histórico completo de registros de entrada, facilitando o gerenciamento e o monitoramento das atividades no sistema.

Figura 9 – Interface web

Banco de usuários							
ID	Nome	Veículo	Placa	Administrador	Senha	Data	
2	David	Gol	PO:: G21	0		15/10/2024	Excluir Editar
4	Figueira	Gol	BR. .S17	0		15/10/2024	Excluir Editar
5	Santos	Fiat toro	FJ . IE12	0		16/10/2024	Excluir Editar

Fonte: dados coletados pelos autores.

A Figura 10 mostra a validação de acesso bem-sucedida, com o sistema identificando corretamente a placa do veículo e liberando o acesso. Neste caso, a interface exibe uma mensagem de "Acesso Permitido", juntamente com os detalhes do veículo e o horário de entrada, comprovando a eficiência e a rapidez do sistema em processar e validar as placas.

Figura 10 - Acesso liberado

```
0: 480x640 1 license_plate, 606.3ms  
Speed: 5.6ms preprocess, 606.3ms inference, 3.1ms postprocess per image at shape (1, 3, 480, 640)  
Placa detectada: BRA0517  
Placa encontrada: (4, 'Figueira', 'Gol', 'BRA017', 0, '', '15/10/2024')  
Acesso liberado!
```

Fonte: dados coletados pelos autores.

A Figura 11 apresenta o cenário em que o sistema negou o acesso, demonstrando como a interface reage quando uma placa não é reconhecida ou não está autorizada no banco de dados. Nesse caso, a interface exibe uma mensagem de “Acesso Negado”, sem a liberação do controle, garantindo a segurança do processo.

Figura 11 - Acesso negado

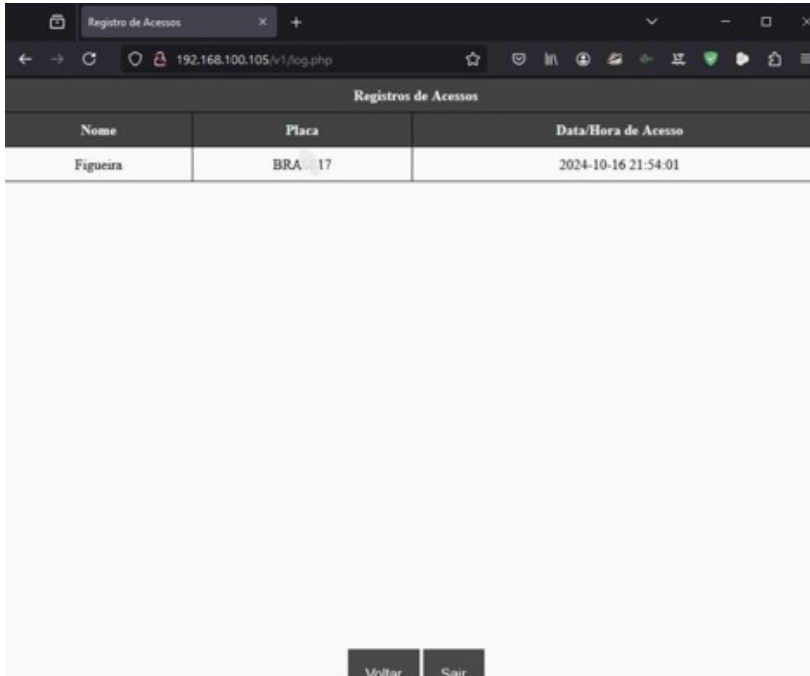
```
0: 480x640 1 license_plate, 602.6ms  
Speed: 5.2ms preprocess, 602.6ms inference, 3.5ms postprocess per image at shape (1, 3, 480, 640)  
Placa detectada: QIY001  
Placa não encontrada no banco de dados.  
Acesso negado!
```

Fonte: dados coletados pelos autores.

As Figuras 10 e 11 representam um exemplo real de validação de acesso, apresentando casos de acesso bem-sucedido e acesso negado no sistema proposto. O sistema detectou e reconheceu corretamente a placa de um veículo, verificou as informações em seu banco de dados e tomou a decisão de liberar ou não o acesso. Como resultado, em que foi reconhecido uma imagem salva no banco de dados, a interface exibiu uma mensagem de “Acesso liberado!”, no caso em que a placa reconhecida não estava salva no banco de dados, o acesso foi negado apresentando a mensagem de ‘Acesso negado!’. Estas mensagens estão para representar de forma visual o funcionamento do sistema, como também representam o funcionamento de sistema eletrônico de acesso. Esse processo do teste iniciou-se com a captura da imagem da placa por meio de uma câmera, aplicou a detecção usando um modelo YOLO, e, em seguida, extraiu

os caracteres da placa utilizando OCR. Após a extração, os caracteres foram comparados com os registros armazenados no banco de dados para validação.

Figura 12 - Registro de acessos



Registros de Acessos		
Nome	Placa	Data/Hora de Acesso
Figueira	BRA 17	2024-10-16 21:54:01

Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 12 apresenta o registro de entrada de um veículo autorizado, ilustrando como o sistema apresenta os acessos liberados para os administradores. Na imagem, é possível observar as informações com detalhes de um veículo que obteve permissão para entrar, incluindo o nome, a identificação da placa e a data do acesso. Essa funcionalidade do sistema garante o monitoramento e gestão de entradas, permitindo que os administradores consultem o histórico dos acessos realizados.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O sistema desenvolvido apresentou resultados concisos em todas as etapas, destacando-se na extração de placas e no reconhecimento de caracteres, consolidando-se como uma solução confiável para controle e acesso veicular. A combinação de técnicas avançadas, como o uso do modelo YOLOv8 para detecção e EasyOCR para reconhecimento, proporcionando um desempenho aceitável em termos de precisão e robustez, com o sistema alcançando uma acurácia de 77,5% nos testes realizados. Um dos diferenciais do sistema está nas otimizações realizadas para lidar com as especificidades das placas brasileiras, que incluem dois principais modelos: o modelo Mercosul e o modelo cinza. O modelo Mercosul apresenta desafios adicionais, como variações causadas pela presença ou ausência de marca d'água nas letras. Apesar dessa diversidade, o sistema demonstrou eficiência em cenários reais, enfrentando bem condições adversas, como variações de angulação e luminosidade. A abordagem empregada não apenas detectou placas com boa acurácia, mas também simplificou o processamento subsequente, isolando com precisão a área da placa, o que facilitou significativamente o reconhecimento de caracteres.

Essa eficiência reflete os benefícios da integração entre deep learning (YOLOv8) e técnicas otimizadas de OCR, assegurando maior confiabilidade em aplicações práticas. Ao comparar o desempenho do sistema com outras abordagens disponíveis na literatura, a combinação de YOLOv8 e EasyOCR mostrou-se competitiva, no entanto com potencial para alcançar melhores resultados. De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, métodos mais robustos, como YOLOv8 combinado com PaddleOCR, alcançaram acurácias de até 99% (Saad *et al.*, 2024). Por outro lado, abordagens tradicionais, como YOLOv4-tiny com Tesseract OCR (78,23%) (Tham; Tan, 2022) e técnicas isoladas de OCR (77,80%) (Vedhaviyassh *et al.*, 2022),

apresentaram desempenhos próximos ao do sistema desenvolvido. Ferramentas como ImageAI library se demonstram com boa eficácia, alcançando acurácia de 90% (Gnanaprakash *et al.*, 2021); além disso, ferramentas como Py-Tesseract, ALPR com EasyOCR e redes neurais convolucionais (CNNs) obtiveram acurácias mais altas (95%-97%), destacando a importância de investir na maior variedade de acesso.

A integração entre os periféricos e a infraestrutura de rede local foi outro diferencial positivo do sistema, garantindo comunicação fluida e operações ininterruptas. A capacidade de computação local no Jetson Nano mostrou-se adequada para processar os dados capturados e realizar as operações necessárias, comprovando a viabilidade do uso de hardware de baixo custo em aplicações IoT. Embora os resultados gerais sejam positivos, algumas limitações foram identificadas, placas extremamente sujas ou danificadas, assim como câmeras de baixa qualidade, comprometeram o reconhecimento de caracteres. Isso sugere a necessidade de melhorias, como o uso de sistemas de iluminação dedicados e câmeras com maior resolução. Além disso, a escalabilidade do sistema para redes maiores pode exigir ajustes na arquitetura, a fim de lidar eficientemente com um volume maior de dados e usuários. De forma geral, os resultados alcançados validam a eficácia da solução proposta, destacando a importância de cada componente para o funcionamento integrado do sistema. A estrutura modular adotada facilita futuras expansões e melhorias, permitindo a incorporação de novas tecnologias ou adaptações para atender a demandas específicas.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o desenvolvimento de um sistema de controle de acesso veicular baseado a identificação de placas de veículos brasileiros, utilizando técnicas de visão computacional e

reconhecimento de caracteres. O sistema integra o modelo YOLOv8 para a detecção de placas e o EasyOCR para o reconhecimento dos caracteres, com otimizações voltadas às particularidades das placas brasileiras, como os modelos Mercosul e cinza. Essas placas apresentam desafios únicos, incluindo variações de design, presença de marca d'água e diferenças estilísticas nos caracteres, que foram cuidadosamente consideradas no desenvolvimento do sistema. Os testes foram realizados com um conjunto de imagens obtidas da internet, com diferentes níveis de qualidade, angulação e distância, alcançando resultados satisfatórios em termos de precisão e eficiência.

Durante o processo, desafios relacionados à segmentação e limpeza das imagens foram enfrentados, especialmente na remoção de ruídos e na identificação correta dos caracteres. Para mitigar esses problemas, diversas etapas de pré-processamento foram aplicadas, como filtros de suavização e técnicas de binarização adaptativa. Apesar das limitações da base de dados utilizada, o sistema demonstrou um bom desempenho ao identificar corretamente as placas em 31 das 40 imagens testadas, resultando em uma acurácia de 77,5%. No entanto, em futuros desenvolvimentos, melhorias podem ser feitas, como a substituição do EasyOCR por um modelo redes neurais que identifiquem caracteres usando a fonte específica das placas brasileiras, e o aumento do conjunto de dados considerando condições adversas, como iluminação variável e placas danificadas. Em resumo, o projeto atingiu seus objetivos iniciais, com o controle de acesso por reconhecimento de placas veiculares em tempo real.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto ARANOUÁ executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., usando

recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, estando sua divulgação e publicidade em conformidade com o previsto no artigo 39.º o Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

AZADBAKHT, A.; KHERADPISHEH, S. R.; FARAHANI, H. Multipath vit OCR: A lightweight visual transformer-based license plate optical character recognition. *In: 2022 12th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*. IEEE, p. 092-095, 2022. <https://doi.org/10.1109/ICCKE57176.2022.9960026>.

CAI, X.; JIN, Y.; LIAO, Y.; TIAN, J. DENG, Y. Precise Segmentation on Poly-Yolo, YoloV5 and FCN. *In: International Conference on Edge Computing and IoT*. Cham: Springer Nature, 2022, p. 54-68. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28990-3_5.

FAKHRURROJA, H. *et al.* Automated license plate detection and recognition using yolov8 and ocr with tello drone camera. *In: 2023 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA)*. IEEE, 2023, p. 206-211. <https://doi.org/10.1109/IC3INA60834.2023.10285750>.

GNANAPRAKASH, V.; KANTHIMATHI, N.; SARANYA, N. Automatic number plate recognition using deep learning. *In: IOP Conference series: materials science and engineering*, v. 1084, n. 1, p. 012027, 2021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1084/1/012027>.

KHOR, Y. L. *et al.* Multi-task yolo for vehicle colour recognition and automatic license plate recognition. *In: IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems*, 2024. <https://doi.org/10.1109/EAIS58494.2024.10570013>.

LE, T. T.; PHAM, V. C. Vehicle tracking and license plate recognition using deep learning. *In: 2024 9th International Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)*. IEEE, 2024, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ATiGB63471.2024.10717839>.

PATIL, A. *et al.* Deep learning-based approach for indian license plate recognition using optical character recognition. *In: 2023 IEEE Guwahati Subsection Conference (GCON)*. IEEE, 2023, p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/GCON58516.2023.10183391>.

PISTORIUS, L.; POLSTER, H.; LABUDDE, D. Relay station attacks on different RFID access systems. *In: 2023 Smart Systems Integration Conference and Exhibition (SSI)*. IEEE, 2023, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/SSI58917.2023.10387965>.

QIU, J. *et al.* A survey on access control in the age of internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 7, n. 6, p. 4682-4696, 2020. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2969326>.

RAWAT, A. S. *et al.* Surveillance system using moving vehicle number plate recognition. *In: 2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)*. IEEE, 2023, p. 940-945. <https://doi.org/10.1109/ICECAA58104.2023.10212426>.

REDDY, P. P.; SHRUTHI, P. S.; HIMANSHU, P.; SINGH, T. License plate detection using yolo v8 and performance evaluation of easyOCR, paddleOCR and tesseract. *In: 2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE, 2024, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT61001.2024.10725878>.

SAAD, A.; SHEIKH, U. U.; ALYASSERI, Z. A. A. An efficient layout index characters for automatic license plate recognition system based on the yolo-v8 detector. *In: 2024 IEEE 8th International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)*. IEEE, 2024, p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICSIPA62061.2024.10701017>.

SANIA, W. R. *et al.* Bounding box and thresholding in optical character recognition for car license plate recognition. **Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika**, v. 7, n. 4, p. 2716-2726, 2023. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i4.12944>.

SARIKA, N.; SIRISALA, N.; VELPURU, M. S. CNN based optical character recognition and applications. *In: 2021 6th International conference on inventive computation technologies (ICICT)*, IEEE 2021, p. 666-672. <https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358735>.

SARKAR, O. *et al.* Automatic number plate character recognition using paddle-OCR. *In: 2024 International Conference on Innovations and Challenges in Emerging Technologies (ICICET)*. IEEE 2024, p. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICICET59348.2024.10616305>.

THAM, M. L.; TAN, W. K. IoT based license plate recognition system using deep learning and OpenVINO. *In: Proceedings of the 2021 4th International Conference on Sensors, Signal and Image Processing*, 2021, p. 7-14. <https://doi.org/10.1145/3502814.3502816>.

VALENTINO, J.; SUSETYO, Y. A. Analisis Perbandingan optical character recognition Google vision dengan microsoft computer vision pada Pembacaan KTP-el. **Jurnal JTik (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)**, v. 7, n. 4, 552-561, 2023.

SUMÁRIO

VEDHAVIYASSH, D. R. *et al.* Comparative analysis of EasyOCR and TesseractOCR for automatic license plate recognition using deep learning algorithm. *In: 2022 6th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology*. IEEE 2022, p. 966-971. <https://doi.org/10.1109/ICECA55336.2022.10009215>.

WANG, N.; WANG, Y.; ER, M. J. Review on deep learning techniques for marine object recognition: Architectures and algorithms. *Control Engineering Practice*, v. 118, p. 104458, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2020.104458>.

SUMÁRIO

4

*Fernando Shogo Ito
Gabriel Marques de Albuquerque
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Hugo Alves Velozo
Daniel Nascimento-e-Silva*

AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA MÁXIMA DE CONECTIVIDADE ENTRE TELEFONES CELULARES COM WI-FI 6

SUMÁRIO

RESUMO:

A popularização de smartphones em regiões urbanas e densamente povoadas traz novas possibilidades de conectividade entre seus portadores. Nesse sentido, caso se venha a conhecer o alcance das tecnologias de radiofrequência em situações reais, com movimento e obstáculos, poder-se-á modelar e parametrizar redes ad hoc sem fio entre celulares. Este trabalho apresenta uma metodologia para a obtenção da distância máxima de comunicação entre smartphones por Wi-Fi 6. O principal objetivo é obter esta distância máxima para dois smartphones de um modelo de referência. Os resultados mostram um alcance da ordem de dezenas de metros, dando uma base para a comparação do alcance com outros modelos de celulares.

Palavras-chave: Distância máxima, Smartphone, Wi-fi 6.0, Comunicação entre smartphones, Modelo de referência, Proposição de metodologia.

INTRODUÇÃO

O uso de smartphones é altamente disseminado (Alan, 2024; Liang *et al.*, 2024; Narishige *et al.*, 2024; Luo *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2023a; Liu *et al.*, 2023b). Isso tem acontecido tanto em ambientes urbanos (Akdağ, 2024; Sobková, 2022), quanto nas áreas rurais (Wu *et al.*, 2024; Nishimura *et al.*, 2023). Esses dispositivos são mais acessíveis e possuem mais mobilidade do que computadores de mesa ou notebooks, oferecendo um novo paradigma de conectividade nas cidades (Eldem, 2024; Ali *et al.*, 2024). Em situações de aglomeração, a disposição das pessoas forma a topologia de uma rede ad hoc Wi-Fi ou Bluetooth, a depender se a distância entre os nós permite conectividade pelas tecnologias mencionadas (Ikeda *et al.*, 2024; Ameen, 2021). Outro exemplo é no contexto de locomoção por automóvel, em que o telefone celular do condutor do veículo tem o potencial de se comunicar com outros veículos, com pontos de acesso ao longo da via e com celulares de transeuntes. Isso aumenta a consciência do condutor e de seu carro sobre os arredores imediatos, o que, por sua vez, é uma premissa para o funcionamento de veículos autônomos (Mohanty *et al.*, 2024; Sudhakaran *et al.*, 2024). Para tanto, independente do exemplo citado, é necessário conhecer o limite do alcance da conectividade dos smartphones, para assim se estabelecerem limiares seguros de distância em que há garantia de comunicação direta e plena, para se modelarem aplicações e usos sobre esta topologia de rede.

O uso de uma rede de smartphones com a tecnologia IEEE 802.11ax, popularmente conhecida como Wi-Fi 6 (Yang *et al.*, 2025; Sarkar *et al.*, 2025; Thenmozhi; Bhaskar, 2025), permite a coleta e análise de dados em tempo real, mesmo em regiões com conectividade limitada (Santos; Souza, 2025; De La Fuente *et al.*, 2025; Nikrow *et al.*, 2025), proporcionando previsibilidade e cobertura, como é o caso de grande parte da região amazônica. Neste sentido, este estudo teve

como objetivo avaliar a distância máxima de conectividade entre telefones celulares com Wi-Fi 6. Especificamente, o estudo procurou responder às seguintes questões: a) qual é o desempenho de uma rede Wi-Fi 6, considerando a mobilidade dos nós, b) que procedimentos podem ser utilizados para projetar uma solução de rede de smartphones eficiente e segura onde a conectividade é intermitente e limitada e c) quais desafios técnicos podem surgir no funcionamento dessa rede e como podem ser superados. Essas questões refletem os meandros da avaliação em relação à complexidade do cenário amazônico. Além disso, a pesquisa buscou explorar como redes oportunistas, baseadas em Wi-Fi 6, podem operar em cenários reais. As principais contribuições do artigo são: (i) a proposição de uma metodologia para a obtenção da distância máxima de comunicação por Wi-Fi 6 e (ii) a obtenção de tal distância para o modelo de celular específico utilizado no experimento.

É possível encontrar alguns trabalhos relacionados com a tecnologia que este estudo desenvolveu. O estudo de Almeida *et al.* (2020) foi realizado em ambiente isolado, sem interferência de outras redes RF ou trânsito de veículos, com o uso de Wi-Fi Direct e beacon stuffing, fez medidas de alcance de comunicação, taxa de entrega de pacotes (PDR) e tempo de recepção entre pacotes (PIR) em cenário V2P (vehicle-to-pedestrian) com linha de visada e sem linha de visada, junto com simulação OMNeT++. Pelos telefones celulares utilizados, os experimentos reais empregaram o padrão IEEE 802.11 b, g ou n, no espectro de 2,4 GHz. O estudo conclui que o Wi-Fi Direct pode ser utilizado para troca de mensagens de segurança entre pedestre e veículo em situação com linha de visada, e o beacon stuffing viabiliza esta mesma comunicação sem linha de visada.

A pesquisa de Ortiz *et al.* (2020) realizou experimentos de alcance de LoRa com nós estacionários e com um dos nós dentro de um veículo em movimento, a 30 km/h, além de simulações com o

SUMÁRIO

software NS-3 e a comparação entre os modelos reais e simulados. As métricas avaliadas foram PDR, PIR e indicação de intensidade de sinal recebido (RSSI). O resultado mostrou que a transmissão foi bem-sucedida na ordem de quilômetros de distância, a taxa de dados do LoRa foi de até 5,5 Kbps na camada física e menos de 1 Kbps na camada de aplicação (Yousuf *et al.*, 2018), impondo restrições aos casos de uso viáveis para comunicação veicular com este meio de radiofrequência.

O estudo de Pinto Neto *et al.* (2020) propôs o aumento da precisão de localização veicular por meio de GNSS diferencial, que conta com auxílio de unidades estacionárias ao longo da via com receptores GNSS que se comunicam, por IEEE 802.11p, com os veículos em trânsito, também portadores dos mesmos sensores de localização. A contribuição deste trabalho foi o emprego da tecnologia Wi-Fi veicular, cujo alcance teórico é de 1000 metros (Demmel *et al.*, 2012) e o alcance efetivo é de 300 metros (Teixeira *et al.*, 2014). Foram posicionadas duas unidades de lado da estrada (RSU) a 400 metros uma da outra e com linha de visada entre si, que emitiam dados de localização por Wi-Fi aos veículos em seu alcance. O resultado constatou o aumento de precisão para 1,5 metro, para localizar o veículo em deslocamento na via, e 1.0 metro para localizá-lo na faixa da via, ao passo que o aumento de precisão da localização GNSS é adequada e a precisão dos smartphones usados foi de 2 metros, sendo suficiente para o experimento a ser realizado.

O trabalho de Zhang *et al.* (2024) fez medições de vazão de dados e de atraso, em Wi-Fi 5 e 6 em 5 GHz, em condições que simulam diferentes situações em um trem de alta velocidade, com dois nós se comunicando dentro de um mesmo carro, em carros adjacentes com o obstáculo de uma porta fechada e, externamente, nos dois extremos de um trem. As distâncias entre os nós variaram de 25 a 200 metros. Os resultados de vazão de dados e tempo de transmissão variaram entre 8 e 390 Mbps e 347 e 926 μ s para Wi-Fi 5,

respectivamente, e entre 150 e 950 Mbps e 2173 e 3373 μ s para Wi-Fi 6, respectivamente. O estudo menciona o uso do protocolo de segurança WPA3 junto ao Wi-Fi 6, no entanto não detalha a metodologia do pareamento entre os dois nós, que antecede as medições realizadas. A Tabela 1 apresenta o comparativo dos trabalhos, de acordo com os seguintes aspectos: protocolo de comunicação, métrica, cenário e abordagem.

Tabela 1 - Trabalhos Relacionados

Parâmetros	Almeida <i>et al.</i> (2020)	Ortiz <i>et al.</i> (2020)	Pinto Neto <i>et al.</i> (2020)	Zhang <i>et al.</i> (2024)	Trabalho proposto
Protocolo	Wi-Fi (2,4 Hz) Direct, beacon stuffing	LoRa	IEEE 802.11p	Wi-Fi (5 GHz) 5 e 6	Wi-Fi (5 GHz) 6
Métrica	Alcance, PDR, PIR	PDR, PIR, RSSI	Precisão de GNSS	Vazão de dados e atraso	Alcance
Cenário	V2P	V2I	V2I	Estacionário, interior e exterior	V2I e V2P
Abordagem	Experimental e simulação	Experimental e simulação	Experimental	Experimental	Experimental

Fonte: elaborado pelos autores.

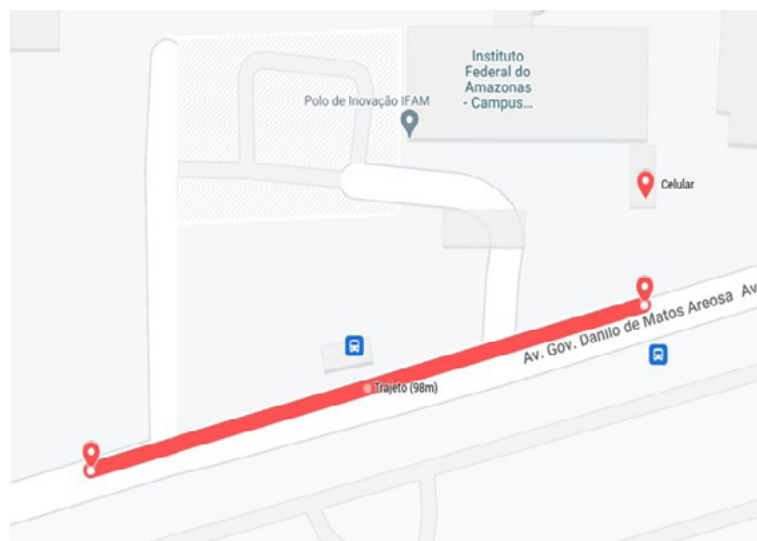
Os trabalhos de Almeida *et al.* (2020), Ortiz *et al.* (2020), Pinto Neto *et al.* (2020) e este nosso estudo lidaram com cenários que envolvem comunicação veicular V2P e V2I, enquanto o trabalho de Zhang *et al.* (2024) realizou testes indoor e outdoor para comunicação em trens de alta velocidade. Os estudos de Almeida *et al.* (2020), Pinto Neto *et al.* (2020), Zhang *et al.* (2024) e o nosso compartilham um ponto comum, que é a utilização da tecnologia de comunicação sem-fio IEEE 802.11 para prover a infraestrutura de telecomunicação. O nosso trabalho explorou as possibilidades oferecidas por uma tecnologia mais recente, que é o Wi-Fi 6, e o fez testando seu alcance em distância.

MATERIAIS E MÉTODOS

AMBIENTE DE MEDIDAS

Foram realizados dois experimentos em dois locais distintos. O primeiro foi ambientado na via rodoviária em frente ao IFAM (Instituto Federal do Amazonas), CMDI (Campus Manaus Distrito Industrial), localizado na cidade de Manaus - AM. A via que dá acesso ao Instituto possui um segmento retilíneo de mais de 500 metros, sendo propícia para medições de distância de comunicação de radiofrequência (RF), com a mínima interferência de obstáculos. A Figura 1 dá a vista aérea do local mencionado, destacando um ponto, onde o telefone estacionário se colocou, e uma linha, que descreve a trajetória feita pelo veículo com o outro telefone.

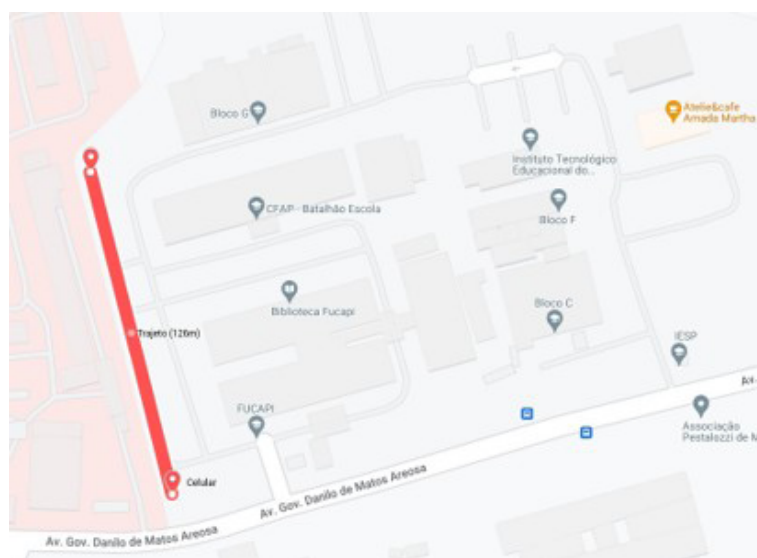
Figura 1 - Vista aérea do experimento no IFAM/CMDI



Fonte: Print capturado pelos autores.

O segundo experimento se caracterizou dentro do perímetro da FUCAPI (Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica), também na cidade de Manaus, Amazonas. Foi utilizado o estacionamento do local, a céu aberto, contendo um trecho retilíneo de 126 metros. A Figura 2 mostra a vista aérea da localidade, com ênfase na trajetória percorrida pelo celular no automóvel.

Figura 2 - Vista aérea do experimento na FUCAPI



Fonte: print capturado pelos autores.

CARACTERÍSTICAS DO EXPERIMENTO

Foi desenvolvido um aplicativo de celular Android, com funcionalidades de testes de qualidade de enlace de redes IP e coleta de localização georreferenciada. Para verificar a conectividade de rede, utilizou-se a ferramenta de geração de tráfego iPerf3, na versão 3.17.1, para envio e recebimento de datagramas UDP. O georreferenciamento

foi feito com sensores GNSS presentes nos telefones. Os aplicativos foram instalados em dois celulares Motorola Edge (2023), com sistema operacional Android 14. A Figura 3 mostra os dois telefones usados executando o aplicativo desenvolvido.

Figura 3 - Telefones executando aplicativo com iPerf



Fonte: fotografia capturada pelos autores.

Os telefones se comunicaram por Wi-Fi 6 no espectro de frequência de 5 GHz, sendo um deles no papel de ponto de acesso, também conhecido como *hotspot* ou *tethering*, e o outro se conectou em modo *station*, ou cliente. Depois de os dois celulares se conectarem, o iPerf3 enviou datagramas de 1024 bytes continuamente de um terminal ao outro a uma taxa fixa de 128 por segundo, enquanto o aplicativo coletou coordenadas de latitude e longitude uma vez por segundo em ambos os celulares. Então, a cada segundo, foi possível determinar a taxa de recebimento de datagramas e a localização dos telefones, sendo que com esta,

obteve-se a distância entre eles utilizando um cálculo consagrado como o método inverso de Vicenty (1975).

Em ambas as execuções experimentais, (IFAM CMDI e FUCAPI), o ponto de acesso foi colocado de modo estacionário, e o cliente se deslocou dentro de um automóvel. No IFAM, o ponto de acesso foi posicionado dentro da guarita da portaria do Instituto, e o cliente, dentro de um automóvel, se afastou da guarita a uma velocidade constante de 20 km/h depois de os telefones se parearem, caracterizando assim um experimento de afastamento, com objetivo de se determinar a distância máxima em que há comunicação entre os nós. Na FUCAPI, o ponto de acesso se colocou na calçada de pedestres, adjacente à via de circulação de carros no estacionamento, e os celulares se aproximaram a uma velocidade de 20 km/h, de modo que o pareamento fosse estabelecido durante o trajeto, sendo então um experimento de aproximação, para descobrir a que distância os nós começam a se comunicar. A Tabela 1 resume os principais parâmetros utilizados no experimento.

SUMÁRIO

Tabela 1 - Parâmetros de medição configurados

Parâmetro	Valor
Espectro de frequência	5 GHz
Endereço IP	Dinâmico
SSID	Fixo
Canal	Dinâmico
Padrão Sem-fio	IEEE 802.11ax
Protocolo de Transporte	UDP
Tamanho de Datagrama	1024 bytes
Taxa de Envio de Datagramas	128/s
Velocidade do Automóvel	20 km/h

Fonte: elaborado pelos autores.

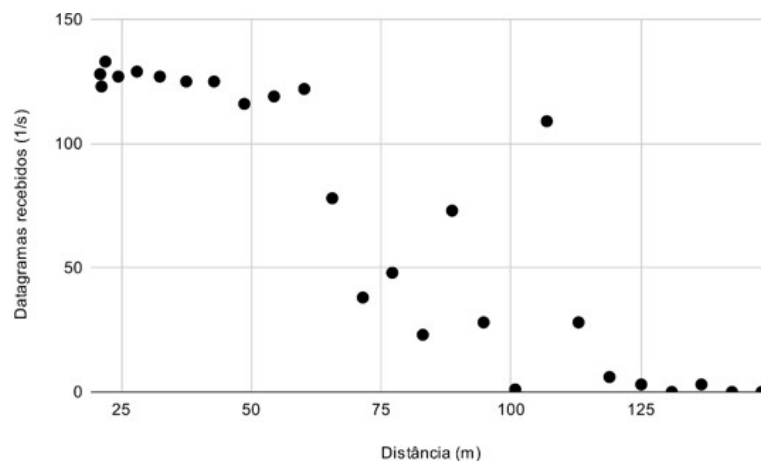
Os testes foram realizados de noite, em condições climáticas ausentes de chuva e ventos. Nesta configuração, três fatores que podem influenciar os resultados dos experimentos são os seguintes: (i) presença de outras redes Wi-Fi nos campi, que podem causar interferência e ruído na comunicação; (ii) obstáculos na disposição dos telefones, a saber, a guarita de alvenaria e o veículo automóvel, e (iii) a circulação de outros automóveis nas proximidades, se pondo como uma barreira física entre os telefones sob teste e causando interferência de RF pelos celulares que podem estar presentes nestes veículos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EXPERIMENTO DE AFASTAMENTO

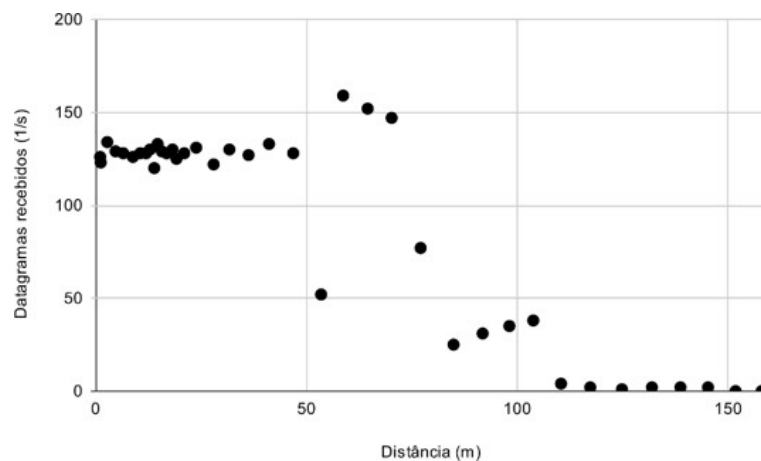
Foram realizadas duas repetições do afastamento do automóvel na via em frente ao IFAM, cujos resultados são apresentados nas Figuras 4 e 5. No gráfico da Figura 4 é possível observar três qualidades de transmissão, separados por dois limiares. A primeira qualidade está a uma distância próxima, em que a transmissão dos datagramas apresenta pouca ou nenhuma perda, sendo a taxa de recebimento equivalente à taxa de transmissão, de 128/s. Depois do primeiro limiar de afastamento está a segunda qualidade de transmissão, em que a taxa de recebimento oscila, demonstrando perda de pacotes, até que ela passa do segundo limiar e chega à terceira qualidade, em que a transmissão é zero, com alguns pacotes porventura recebidos. Experimentalmente, verificou-se que o primeiro limiar foi de 60,20 metros e o segundo limiar, de 112,97 metros.

Figura 4 - Primeira execução do experimento de afastamento



Fonte: dados coletados pelos autores.

Figura 5 - Segunda execução do experimento de afastamento



Fonte: dados coletados pelos autores.

A repetição do experimento ilustrado pela Figura 4 é vista na Figura 5, onde se observam também as três qualidades de transmissão e os dois limiares que os dividem. O primeiro limiar, entre

transmissão plena e transmissão oscilante, esteve em 46,84 metros, e o segundo, que define a perda de transmissão, foi de 103,76 metros. Observa-se, na segunda execução, a densidade de pontos na distância inferior a 25 metros maior do que na primeira execução. Levando em consideração que o aplicativo gera medição por segundo, então, por haver mais medições em distâncias curtas, entende-se que o veículo demorou mais para se distanciar no segundo teste. A causa disso foi o tráfego na via durante o experimento, em que o automóvel portador do celular precisou aguardar outros veículos passarem para poder ingressar na via. Unindo estatisticamente os resultados das duas execuções, temos que a média da distância do primeiro limiar foi de 53,52 metros, com desvio padrão de 6,68 metros, e a média do segundo limiar foi de 103,76 metros com desvio padrão de 4,60 metros.

EXPERIMENTO DE APROXIMAÇÃO

Para o experimento de aproximação, foram feitas duas repetições no estacionamento da FUCAPI. A transmissão iniciou após os telefones se parearem. Deste momento em diante, a transmissão desempenhou a taxa máxima até zerar a distância entre os aparelhos. Observou-se que o pareamento dos celulares ocorreu nas distâncias de 16,64 e 12,25 metros, resultando na média de 14,44 metros e desvio padrão de 2,20 metros. O fato da distância de pareamento em aproximação ser tão inferior à distância máxima de transmissão em afastamento se explica por três principais razões, a saber: (i) o protocolo de pareamento entre ponto de acesso e cliente Wi-Fi envolve a troca de diversas mensagens em sequência, que se torna um procedimento desafiador quando os terminais estão distantes entre si; (ii) interferência de radiofrequência no espectro do Wi-Fi causada por pontos de acesso no campus; e (iii) tráfego intenso de automóveis no momento do experimento, que se colocaram como

barreira física entre os celulares de teste, causando interferência de radiofrequência com os celulares dos motoristas.

O experimento executado por Almeida *et al.* (2020) também demonstrou dificuldade de pareamento. Na ocasião, foi empregado Wi-Fi Direct em algum dos padrões IEEE 802.11 b, g ou n. Em situação de aproximação entre veículo e pedestre, distantes inicialmente a 500 metros, com o pedestre estacionário e o veículo se movimentando a 20 km/h, o pareamento foi estabelecido em apenas 10 de 16 tentativas, corroborando o resultado obtido no experimento aqui relatado.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise experimental da distância máxima de conectividade de Wi-Fi 6 entre telefones celulares em afastamento. Os resultados mostram que aparelhos a uma distância de até 47 metros conseguem se comunicar sem perdas, trazendo à luz um parâmetro que pode ser usado em variadas aplicações, como no posicionamento de nós de uma rede de sensores conectados por Wi-Fi, assim como em modelos de redes descentralizadas de celulares portados por pessoas em aglomeração, e situações de comunicação veicular envolvendo infraestrutura (*vehicle-to-infrastructure*, ou V2I).

Os resultados obtidos também podem ser usados como parâmetros para calibrar simuladores de redes, que permitem estender em escala o modelo proposto por este artigo, ao empregar mais nós na rede de comunicação e observar as distâncias de transmissão e a interferência entre eles.

Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar a distância de transmissão de outros modelos de telefone e de aparelhos IoT, para viabilizar a modelagem de uma rede de dispositivos heterogêneos,

em que se minimiza o número de transmissores necessários para a plena cobertura de uma dada área. Outro trabalho é investigar a viabilidade do uso de Wi-Fi 6 em outros cenários de conectividade de dispositivos em deslocamento, como a telecomunicação veicular, com aplicações em transferência de dados com infraestrutura e segurança de transeuntes, entre outros. O protocolo beacon stuffing, proposto por (Chandra *et al.*, 2007), pode ser exercitado para reavaliar tanto a distância de afastamento quanto a distância de aproximação, em um experimento similar.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto ARANOUÁ executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., usando recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, estando sua divulgação e publicidade em conformidade com o previsto no artigo 39º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

ALI, Q. S., *et al.* A systematic examination of adaptive protocols in hybrid 5G and LoRaWAN IoT environments. *In: 2024 36th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*. IEEE 2024, p. 768-777. <https://doi.org/10.23919/FRUCT64283.2024.10749890>.

ALMEIDA, T. T. *et al.* Wi-fi direct performance evaluation for v2p communications. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 9, n. 2, p. 28, 2020. <https://doi.org/10.3390/jsan9020028>, 2020.

AMEEN, Z. J. Android quiz application based on face recognition. recent advances in computer science and communications. **Formerly: Recent Patents on Computer Science**, v. 14, n. 5, p. 1573-1581, 2021. <https://doi.org/10.2174/2213275912666190830155305>.

CHANDRA, R.; PADHYE, J.; RAVINDRANATH, L.; WOLMAN, A. Beacon-stuffing: Wi-fi without associations. *In: Eighth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. IEEE 2007, p. 53-57. <https://doi.org/10.1109/HotMobile.2007.16>.

DE LA FUENTE, R.; RADRIGAN, L.; MORALES, A. S. Enhancing predictive maintenance in mining mobile machinery through a hierarchical inference network. **IEEE Access**, v. 13, p. 59480-59504, 2025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3557405>.

DEMMELE, S. *et al.* Empirical IEEE 802.11 p performance evaluation on test tracks. *In: 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. IEEE 2012, p. 837-842. <https://doi.org/10.1109/IVS.2012.6232268>.

ELDEM, T. The global rivalry over strategic connectivity and the emerging world order: A view from Türkiye. **Perceptions: Journal of International Affairs**, v. 29, n. 2, p. 102-119, 2024.

IKEDA, H. *et al.* Development of underground communication system for data transmission using Wi-Fi direct and power line communication. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 153, p. 106047, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.106047>.

LIU, Q. *et al.* NLOS signal detection and correction for smartphone using convolutional neural network and variational mode decomposition in urban environment. **GPS Solutions**, v. 27, n. 1, p. 31, 2023a. <https://doi.org/10.1007/s10291-022-01369-2>.

Liu, Q., Gao, C., Xhafa, A., Gao, W., Lopez-Salcedo, J. A., & Seco-Granados, G. (2023b). Performance analysis of GNSS+ 5G hybrid positioning algorithms for smartphones in urban environments. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 73, 1-9. <https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3338677>.

LUO, H. *et al.* Integration of GNSS and BLE technology with inertial sensors for real-time positioning in urban environments. **IEEE access**, v. 9, p. 15744-15763, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052733>.

MOHANTY, A.; RAHAMATHUNNISA, U.; SUDHAKAR, K.; SATHIYARAJ, R. Age of computational ai for autonomous vehicles. **Artificial Intelligence for Autonomous Vehicles**, p. 25-54, 2024. <https://doi.org/10.1002/9781119847656.ch2>.

NETO, J. B. P. *et al.* An accurate cooperative positioning system for vehicular safety applications. **Computers & Electrical Engineering**, v. 83, p. 106591, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106591>.

SUMÁRIO

NKROW, R. E. *et al.* NLOS identification and mitigation for time-based indoor localization systems: Survey and future research directions. **ACM Computing Surveys**, v. 56, n. 12, p. 1-41, 2024. <https://doi.org/10.1145/3663473>.

ORTIZ, F. M.; ALMEIDA, T. T.; FERREIRA, A. E.; COSTA, L. H. M. Experimental vs. simulation analysis of LoRa for vehicular communications. **Computer Communications**, v. 160, p. 299-310, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.06.006>, 2020.

SANTOS, L. V.; SOUZA, V. B. UAV Path planning for enhanced connectivity in environments with limited infrastructure using DDQN. *In: International Congress on Information and Communication Technology*. Singapore: Springer Nature, (2025, p. 427-437. https://doi.org/10.1007/978-981-96-6938-7_36.

SARKAR, N. I.; FAIZ, N.; ALI, M. J. The impact of security protocols on TCP/UDP throughput in IEEE 802.11 ax Client-Server network: An empirical study. **Electronics**, v. 4, n. 19, p. 3890, 2025. <https://doi.org/10.3390/electronics14193890>.

SUDHAKARAN, G. *et al.* Stepping into safety: a systematic review of extended reality technology applications in enhancing vulnerable road user safety. **Smart and Sustainable Built Environment**, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print, 2024. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2023-0321>

TEIXEIRA, F. A. *et al.* Vehicular networks using the IEEE 802.11 p standard: An experimental analysis. **Vehicular Communications**, v. 1, n. 2, p. 91-96, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.04.001>.

THENMOZHI, V.; BHASKAR, M. Improved low noise and highly linear 5–6 GHz LNA for Wi-Fi 6/6E-IEEE 802.11 ax standard 5G application. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 124, n. 2, p. 32, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10470-025-02436-7>.

TZONEVA, A., & STOYANOV, B. **Supplier Cybersecurity Risk Assessment Methodology**, 2021.

VINCENY, T. Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. **Survey review**, v. 23, n. 176, p. 88-93, 1975. <https://doi.org/10.1179/sre.1975.23.176.88>.

WU, Z.; OLASEHINDE, T. S.; CHEN, F. Does smartphone use encourage farmers to participate in centralized household waste disposal? **Heliyon**, v. 10, n. 21, p. 1-12, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39683>.

SUMÁRIO

YANG, Y. *et al.* A survey of IEEE 802.11 ax WLAN temporal duty cycle for the assessment of RF electromagnetic exposure. **Applied Sciences**, v. 15, n. 5, p. 2858, 2025. <https://doi.org/10.3390/app15052858>.

YOUSUF, A. M.; ROCHESTER, E. M.; OUSAT, B.; GHADERI, M. Throughput, coverage and scalability of LoRa LPWAN for internet of things. *In*: **2018 IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS)**. IEEE 2018, p. 1-10. <https://doi.org/10.1109/IWQoS.2018.8624157>, 2018.

ZHANG, Z.; HU, F.; LING, Z.; LIU, C.; XU, F. WiFi performance analysis in high-speed railway communication. **High-speed Railway**, v. 2, n. 4, p. 248-258, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.hspr.2024.11.005>.

SUMÁRIO

5

*Francibel Neves
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

**PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO
MOBILE PARA CLASSIFICAÇÃO
DE DOENÇAS E PRAGAS
EM CULTIVOS AGRÍCOLAS
EM ECOSSISTEMAS COM IOT**

SUMÁRIO

RESUMO:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma solução baseada em Internet das Coisas (IoT) para identificação automatizada de doenças em plantações de alface. A solução é composta por um modelo de classificação de imagens utilizando o modelo YOLOv8n, aplicado ao mecanismo de inferência na nuvem utilizando o protocolo MQTT, caracterizando uma arquitetura cliente-servidor típica de aplicações IoT. O modelo foi avaliado com a métrica de acurácia e demonstrou capacidade satisfatória uma vez que os resultados indicaram que a aplicação se confirmou como ferramenta tanto de uso técnico quanto de apoio didático, com forte potencial de promoção da inclusão tecnológica no campo.

Palavras-chave: Internet das coisas, Identificação automatizada de doenças, Plantações de alface, Solução mobile, Classificação de doenças e pragas.

INTRODUÇÃO

A agricultura enfrenta desafios crescentes relacionados à identificação e ao manejo de doenças em plantas, especialmente em culturas como a alface, amplamente cultivada e suscetível a diversos agentes patogênicos. A análise tradicional, que requer conhecimento profundo e experiência prática, torna o processo de aprendizado mais lento e muitas vezes dependente de visitas a campo com especialistas. Nesse contexto, este estudo propõe o desenvolvimento de uma solução tecnológica baseada em Internet das Coisas (IoT) e aprendizado de máquina, visando facilitar o diagnóstico precoce de problemas fitossanitários em plantações. Utilizando o modelo YOLOv8 para detecção e classificação de imagens, a solução integra um aplicativo móvel, desenvolvido no Android Studio, com infraestrutura em nuvem fornecida pelo Google Cloud.

O sistema foi projetado para coletar imagens de folhas de alface, processá-las em tempo real e classificar as plantas em três categorias: saudáveis, afetadas por fungos ou bactérias. A comunicação entre os dispositivos é mediada pelo protocolo MQTT, conhecido por sua leveza e eficiência, o que é ideal para aplicações IoT. A investigação também explora o uso de aprendizado por transferência para otimizar o desempenho do modelo em um conjunto de dados específico, o Lettuce Plant Disease Dataset, obtido na plataforma Kaggle, com 2.813 imagens distribuídas em classes representativas. Essa base de dados foi fundamental para o treinamento e avaliação do modelo, que permitiu atingir altos níveis de acurácia. A proposta visa não apenas contribuir para o avanço tecnológico no diagnóstico de doenças agrícolas, mas também oferecer uma ferramenta prática e acessível para pequenos agricultores e estudantes de agrotécnica, promovendo a sustentabilidade e a produtividade no campo.

IOT E APLICAÇÕES NA AGRICULTURA

A IoT é a interconexão de dispositivos inteligentes capazes de coletar, processar e transmitir dados sem necessidade de interação humana direta (Gubbi *et al.*, 2013; Gawade *et al.*, 2025; Jaffrin *et al.* 2025; Gowda *et al.*, 2025). Na agricultura, sensores, câmeras e dispositivos de comunicação sem fio permitem a detecção precoce de doenças (Meshram; Choudhari, 2025; Ganya *et al.*, 2025; Dixit, 2025; Sadotra *et al.*, 2025) e pragas (Omer *et al.*, 2024; Kurniawan *et al.*, 2024; Dong *et al.*, 2025), possibilitando respostas rápidas e eficazes. Técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina são empregadas para classificar padrões em folhas e frutos, proporcionando maior precisão no diagnóstico (Kempelis *et al.*, 2024; Adebayo *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2024).

A IoT tem ganhado destaque em diversos setores, incluindo a agricultura pela sua capacidade de integrar dispositivos, como sensores, câmeras e atuadores, com o objetivo de monitorar e otimizar processos. No contexto da agricultura, a IoT possibilita o monitoramento em tempo real das condições das plantações, como temperatura, umidade do solo, luminosidade e presença de pragas e doenças, por meio de sensores conectados à rede. Através de plataformas de análise, esses dados podem ser utilizados para prever e diagnosticar problemas nas lavouras, permitindo intervenções mais rápidas e eficientes (Gubbi *et al.*, 2013; Kilci; Koklu, 2025; Saleh *et al.*, 2024). Apesar dos avanços, desafios como a infraestrutura de comunicação, custo de implantação e necessidade de capacitação de agricultores ainda precisam ser superados. Atualmente, a integração de IoT com inteligência artificial tem tornado os diagnósticos ainda mais precisos e acessíveis (Lanfranchi *et al.*, 2025; Adhikari *et al.*, 2025; Reddy *et al.*, 2025), principalmente com o uso do machine learning (ML).

O ML é um ramo da inteligência artificial que permite a análise preditiva e a identificação de padrões em grandes volumes de

dados agrícolas (Ansari *et al.*, 2025; Carniel; Guzmán, 2025; Güçlü, 2025). Na agricultura, técnicas de ML, como redes neurais convolucionais (CNN), têm sido amplamente utilizadas para análise de imagens de plantas e diagnóstico de doenças (Mohanty *et al.*, 2016; Bedi *et al.*, 2021; Goyal *et al.*, 2025). Estudos como os de Sladojevic *et al.* (2016), Hridoy *et al.* (2022) e Kubba e Wasson (2025) mostram que modelos de deep learning podem alcançar alta precisão na identificação de doenças foliares, superando métodos tradicionais. Neste estudo, algoritmos de classificação foram aplicados para categorizar diferentes tipos de doenças com base em dados coletados por sensores IoT.

O ML desempenha um papel fundamental em sistemas de diagnóstico automático, como o que foi aplicado nesta investigação, para a identificação de doenças e pragas nas plantações. O uso de algoritmos de aprendizado de máquina permite a classificação de imagens de plantas e identificar padrões que indicam a presença de problemas fitossanitários. Estudos como os de He *et al.* (2019), Sinthuja *et al.* (2025) e Nazuli *et al.* (2025) têm destacado a aplicação de redes neurais convolucionais (CNN) com grande eficácia na classificação de imagens de plantas para a identificação de doenças e pragas. Esses algoritmos são treinados com grandes volumes de dados rotulados (imagens de plantas com doenças ou pragas) e, com isso, conseguem aprender características específicas que são indicativas dos problemas fitossanitários.

O uso de sensores e câmeras inteligentes integrados a sistemas IoT permite a análise de imagens e dados ambientais para a identificação de sintomas de doenças e infestação por pragas (Asthana; Bhujade, 2025; Ranjan; Kumar, 2025). O ML aprimora esse processo ao classificar e interpretar padrões com maior eficiência, reduzindo a necessidade de intervenção humana e otimizando a tomada de decisão (Boursianis *et al.*, 2022). Apesar dos avanços, desafios como a infraestrutura de comunicação, custo de implantação e necessidade de capacitação de agricultores ainda precisam ser superados (Kaler;

Kaur, 2025; Upadhyay *et al.*, 2025). Futuramente, a integração de IoT com ML promete tornar os diagnósticos ainda mais precisos e acessíveis, de maneira que essa integração na detecção e diagnóstico de doenças e pragas na agricultura representa um grande avanço para o setor. O uso dessas tecnologias pode revolucionar a produção agrícola, tornando-a mais eficiente e sustentável, especialmente com o desenvolvimento mobile.

O desenvolvimento mobile refere-se à criação de aplicações para dispositivos móveis, como smartphones e tablets (Sanchit *et al.*, 2025; Hao; Liu, 2025). Com o crescimento exponencial do uso desses dispositivos, o desenvolvimento mobile se tornou um campo essencial dentro da engenharia de software. A escolha da plataforma impacta diretamente o desenvolvimento, a distribuição e a manutenção do aplicativo, o que se configura como um fator determinante na definição da arquitetura e usabilidade do sistema (Pressman, 2019). Com o crescimento da IoT, os aplicativos móveis se tornaram interfaces essenciais para a interação com dispositivos conectados, permitindo monitoramento, controle e análise de dados em tempo real (Tanenbaum; Wetherall, 2011; Andrade; García, 2025).

A integração entre aplicativos móveis e a IoT normalmente segue uma arquitetura em três camadas. A primeira camada é a física, composta por dispositivos móveis, onde estão localizados os sensores e atuadores conectados à rede, como Wi-Fi, Bluetooth e LoRaWAN. A segunda camada é a de comunicação, ou middleware, que inclui servidores em nuvem ou gateways responsáveis pelo processamento e armazenamento de dados, utilizando diferentes protocolos de comunicação, como message queuing telemetry transport (MQTT), um protocolo leve destinado à comunicação publish/subscribe em tempo real (Sikora, 2025; Ramirez *et al.*, 2025), e HTTP/HTTPS, que são utilizados em aplicações que exigem segurança. A terceira camada é a de apresentação, que se refere à interface do usuário para visualização e controle remoto.

O desenvolvimento de aplicativos móveis para a identificação e diagnóstico de doenças e pragas na agricultura tem se tornado uma solução viável para otimizar a gestão fitossanitária das lavouras. O uso de tecnologias móveis permite o monitoramento em tempo real, reduzindo perdas econômicas e aumentando a eficiência dos processos agrícolas (Savas; Gharibzahedi, 2025; Barrios-Ulloa *et al.*, 2025). A chamada Agricultura 4.0 tem como um de seus pilares o uso da IoT e da IA para automação e análise preditiva (Rocha *et al.*, 2025; Barrios-Ulloa *et al.*, 2025). Aplicativos móveis conectados a sensores e câmeras permitem a coleta de imagens e dados ambientais para análise de padrões de infecção em plantas (Silva; Cavichioli, 2020). Os aplicativos móveis permitem que os agricultores recebam alertas e visualizem dados sobre as condições das plantações em tempo real. A partir de estudos como os de Bellout *et al.* (2025), Mansoor *et al.* (2025), Zhao *et al.* (2025) e Savas e Gharibzahedi (2025) percebe-se que a integração entre plataformas móveis e dispositivos IoT proporciona uma solução acessível e eficiente para a gestão agrícola, permitindo que os usuários monitorem remotamente seus campos e recebam diagnósticos instantâneos.

A plataforma de desenvolvimento mobile mais utilizada para aplicações relacionadas à IoT é o Android, devido à sua acessibilidade, versatilidade e ampla adoção. Ferramentas como o Android Studio, associadas a bibliotecas para integração com dispositivos IoT, são comumente utilizadas para criar interfaces interativas e otimizar a experiência do usuário na recepção de dados analíticos. As tendências no desenvolvimento mobile incluem o uso de inteligência artificial (Alrusaini, 2025), computação em nuvem (Kumari *et al.*, 2025) e aprimoramento da segurança dos dados (Umamaheswari *et al.*, 2025). Entretanto, desafios como a fragmentação de dispositivos e a gestão da eficiência energética são aspectos críticos a serem considerados. As diferentes abordagens e tecnologias impactam diretamente a experiência do usuário e a escalabilidade dos sistemas, de maneira que a escolha da arquitetura e da plataforma

deve ser feita com base nos requisitos do projeto e nas necessidades do público-alvo.

Na literatura, há uma diversidade de pesquisas voltadas para a agricultura que utilizam a IoT para a detecção de doenças em plantações por meio de imagens. Esses estudos abordam diferentes aplicações de visão computacional das utilizadas neste trabalho. A pesquisa de Stroparo (2024), por exemplo, mostra a capacidade da IoT conectar dispositivos e sistemas, possibilitando a coleta e troca de dados em tempo real, bem como avanços significativos na gestão de recursos e na tomada de decisões. Os resultados destacaram os benefícios significativos da IoT para a agricultura, tanto em termos de sustentabilidade quanto de eficiência produtiva. Drones e satélites equipados com sensores de IoT são exemplos de tecnologia usadas para mapear áreas de cultivo, identificar pragas e doenças em estágios iniciais, permitindo intervenções rápidas e eficazes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo foi feito o uso de ML no treinamento de modelos para classificação de plantações de alface para identificar e classificar automaticamente o estado das plantas em três diferentes classes: fungos, bactérias e saudáveis. A coleta de dados foi feita com um aplicativo criado para realizar a captura das imagens das alfaces que em seguida foi enviada para um servidor na nuvem para identificação e classificação. Após o processamento, o servidor devolve uma resposta para o aplicativo informando qual o estado de saúde da alface. A solução foi desenvolvida com uma arquitetura que integra coleta de dados, processamento na nuvem e retorno de informações ao usuário, cujo funcionamento ocorre em quatro etapas. A Figura 1 ilustra a arquitetura,

com o fluxo de dados desde a captura das imagens até o retorno dos diagnósticos ao usuário.

Figura 1 - Arquitetura da Solução



Fonte: elaborado pelos autores.

A primeira é a coleta de dados, feita a partir de um aplicativo Android criado para realizar a captura de imagens das plantas de alface diretamente no campo ou em ambientes controlados. O aplicativo representa a interface inicial do sistema, permitindo que o usuário fotografe as plantas com facilidade e as imagens coletadas são enviadas via internet para um servidor em nuvem. A segunda é o envio de dados pelo aplicativo para um servidor hospedado na nuvem, via internet automaticamente, utilizando a infraestrutura do Google Cloud. Esse processo garante que os dados sejam transmitidos com rapidez e segura para o processamento, independentemente da localização do usuário. A terceira etapa é o processamento e classificação, quando as imagens são submetidas a um modelo de inteligência artificial previamente treinado. O modelo identifica o estado de saúde da planta, classificando-a em uma das três categorias

predefinidas: saudável, com fungos ou com bactérias. A quarta e última etapa é o retorno do resultado ao aplicativo, que inclui o estado de saúde identificado e, opcionalmente, sugerindo o tratamento. O usuário, ao receber a informação, pode tomar decisões baseadas nos diagnósticos fornecidos.

MATERIAIS

Serviços em nuvem

O serviço em nuvem é a oferta de recursos computacionais acessíveis remotamente pela internet, como armazenamento, processamento, desenvolvimento de aplicativos e outras funcionalidades. Entre seus benefícios estão escalabilidade, custo reduzido, acesso global e manutenção simplificada. Esses serviços são fornecidos por provedores especializados e permitem que usuários e empresas utilizem infraestrutura e software sem a necessidade de aquisição ou gerenciamento físico de hardware e sistemas locais. Foi utilizado o Google Colaboratory ou Google Colab (como é popularmente conhecido) como ambiente de codificação para o treinamento, teste e avaliação do desempenho do modelo de classificação por ser uma plataforma gratuita oferecida pela Google e permitir escrever e executar código Python. Configuramos no servidor uma arquitetura cliente-servidor para hospedar o mecanismo de inferência do modelo YOLOv8 para permitir comunicação e processamento remoto das imagens coletadas e enviadas pelo aplicativo.

Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)

Esse ambiente é uma plataforma que reúne ferramentas necessárias para o desenvolvimento de software e oferece interface unificada para codificação, depuração e teste de aplicações.

Utilizamos o Android Studio para o desenvolvimento da interface gráfica, que é IDE oficial para o desenvolvimento de aplicativos móveis no sistema Android, porque fornece um ambiente robusto para criar, compilar e depurar aplicativos, incluindo editores de código, emuladores de dispositivos, ferramentas de gerenciamento de interface e suporte a bibliotecas e frameworks específicos do Android. Quando utilizado como cliente em uma arquitetura cliente-servidor, o Android Studio facilita o desenvolvimento do aplicativo móvel que interage com o servidor. Nesse contexto, o cliente é responsável por enviar dados ao servidor, receber respostas e apresentar os resultados ao usuário final. A integração com protocolos de comunicação, como MQTT ou HTTP, permite que o aplicativo funcione de forma eficiente em sistemas distribuídos.

Protocolo de Comunicação

Este protocolo é um conjunto de regras e padrões que define como os dispositivos de um sistema se comunicam e garantem a troca de informações de maneira estruturada e compreensível. Esses protocolos especificam formatos de mensagens, métodos de envio, recepção de dados e procedimentos para lidar com erros de comunicação. São essenciais em redes de computadores, sistemas distribuídos e na IoT porque permite interoperabilidade entre diferentes dispositivos e plataformas. Seus exemplos incluem HTTP (para comunicação na web) e MQTT (amplamente utilizado em sistemas IoT, devido à sua leveza e eficiência). Nesta aplicação foi utilizado o Eclipse Paho, projeto de código aberto que fornece implementações de clientes MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para diversas linguagens de programação, como Python, Java, C/C++, JavaScript e plataformas. Seu principal objetivo é facilitar a comunicação entre dispositivos IoT e sistemas centralizados, garantindo eficiência e baixo consumo de recursos. Foi projetado para facilitar a comunicação entre dispositivos em redes com baixa largura de banda, alta latência ou conectividade limitada. Em arquitetura cliente-servidor, o MQTT opera no modelo

publicador/assinante, no qual o cliente pode publicar mensagens ou assinar tópicos para receber dados; o servidor (broker) gerencia os tópicos e distribui as mensagens entre os clientes assinantes. O modelo permite que dispositivos se comuniquem de forma assíncrona e escalável, garantindo eficiência no tráfego de dados.

Linguagens de programação

São ferramentas computacionais que permitem aos desenvolvedores criar software e fornecer instruções que o computador possa interpretar e executar. Cada linguagem possui características específicas que a tornam mais adequada para determinadas aplicações. Para construção deste aplicativo utilizamos o Java, linguagem de programação orientada a objetos amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicativos móveis para Android porque oferece robustez, portabilidade e vasto ecossistema de bibliotecas, além de permitir a criação de interfaces gráficas e funcionalidades para aplicativos-clientes em arquiteturas cliente-servidor. No desenvolvimento do processamento no servidor utilizamos o Python, linguagem de programação de alto nível e fácil leitura, ideal para tarefas de ciência de dados, aprendizado de máquina e inteligência artificial, devido à sua simplicidade e ampla gama de bibliotecas, que a tornam a escolha eficiente para o desenvolvimento da solução. Neste trabalho essa linguagem foi utilizada para implementar o mecanismo de inferência baseado no modelo YOLOv8, aplicado na classificação de imagens.

Técnica YOLO

YOLO (You Only Look Once) é uma técnica de detecção de objetos em imagens e vídeos que se destaca por sua rapidez e eficiência. Diferentemente de métodos tradicionais que dividem a detecção em várias etapas (como identificação de regiões e classificação), o YOLO realiza todas as operações em uma única execução

da rede neural, tornando-o ideal para aplicações em tempo real. Seu funcionamento se baseia na divisão da imagem em uma grade, onde cada célula prevê a probabilidade de um objeto estar presente, e sua localização. É amplamente utilizado em áreas como segurança, transporte, saúde e agricultura graças à sua capacidade de detectar e classificar múltiplos objetos simultaneamente com alta precisão. Essa metodologia continua a evoluir, integrando novas melhorias em termos de velocidade, precisão e escalabilidade e conta com várias versões desenvolvidas ao longo dos anos (como YOLOv4, YOLOv5 e YOLOv8). Nesta aplicação utilizamos a versão YOLOv8, versão avançada amplamente utilizada para tarefas de detecção e classificação de objetos em imagens e vídeos, projetada para oferecer alta precisão e velocidade, adequada tanto para aplicações em tempo real quanto para sistemas que exigem baixo consumo de recursos.

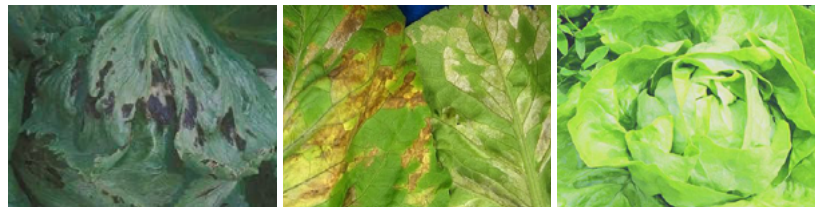
MÉTODOS

Coleta de Dados

Coleta de Dados é o processo de reunir informações ou amostras que serão usadas para análise, treinamento de modelos ou tomada de decisões. No aprendizado de máquina e modelos de classificação, é a primeira e crucial etapa para garantir que o modelo tenha acesso a informações relevantes, precisas e representativas. A base de dados utilizada neste experimento está disponível no site da Kaggle, plataforma da comunidade de ciência de dados que oferece ampla gama de ferramentas e recursos para cientistas de dados, engenheiros de ML e desenvolvedores de inteligência artificial. Nosso experimento utilizou a base de dados “Lettuce plant Disease Dataset”, que possui 2813 imagens de amostras de alfaces no formato jpg. Nessa base existem três diretórios (test, train e valid), cada um dividido em três classes: bacteriana (bactérias), fungo (fungos)

e healthy (saudáveis). A figura 2 apresenta as amostras coletadas nessa base de dados.

Figura 2 - Amostras de alfaces coletadas



Fonte: Lettuce plant Disease Dataset.

A imagem à esquerda é uma folha de alface infectada com fungos; a imagem do meio mostra uma alface infectada por bactérias; e a imagem à direita é uma amostra de alface saudável.

Classificação de dados

Modelos de classificação são algoritmos de aprendizado de máquina projetados para categorizar dados em classes ou categorias predefinidas. Os modelos analisam padrões e características presentes nos dados de entrada e associam cada exemplo a uma classe específica. O funcionamento dos modelos de classificação envolve três etapas principais: a primeira é o treinamento, quando o modelo é treinado com dados rotulados e aprende a relação entre os exemplos e suas classes; a segunda etapa é a inferência, momento em que o modelo aplica o aprendizado a novos dados para prever suas classes; e a terceira é a avaliação, etapa em que o desempenho do modelo é submetido a métricas, como precisão, recall, F1-score e acurácia. Os modelos podem ser baseados em diferentes técnicas, como árvores de decisão, redes neurais ou algoritmos probabilísticos, dependendo do tipo e da complexidade dos dados. A etapa de classificação de dados é fundamental no desenvolvimento de

modelos de ML porque avalia a capacidade do modelo identificar e categorizar corretamente os exemplos em suas classes predefinidas. No experimento conduzido, foi utilizado o modelo YOLOv8n, otimizado para detecção e classificação de objetos.

Treinamento do modelo

O treinamento é uma etapa do ML em que um modelo é treinado previamente em um grande conjunto de dados genéricos antes de ser ajustado para uma tarefa específica para permitir que aproveite o conhecimento adquirido no treinamento inicial para acelerar e melhorar o desempenho em problemas específicos. Nossa aplicação utilizou o YOLOv8n, que é um modelo pré-treinado, otimizado para detecção e classificação de objetos com menor quantidade de parâmetros, o que o torna leve e eficiente, especialmente para dispositivos com recursos limitados. O YOLOv8n utiliza o método de aprendizado por transferência para adaptar os pesos pré-treinados a novo conjunto de dados, ajustando-se para resolver problemas específicos com maior rapidez e precisão, evitando a necessidade de treinamento do zero.

Utilizaram-se 2813 amostras de alfaces da base de dados "Lettuce plant Disease Dataset", divididas em três classes: bacterial (bactérias), fungal (fungos) e healthy (saudáveis). A base de dados está dividida em três diretórios: test, train e valid. No diretório de test há 75 amostras identificadas como bactérias, 75 como fungos e 76 amostras saudáveis; no diretório de train há 732 amostras identificadas como bactérias, 581 como fungos e 1049 amostras de alfaces saudáveis; no diretório valid há 75 amostras de alfaces em cada classe. Nossa aplicação fez o treinamento na plataforma Colab, codificou o código fonte e as amostras de alfaces foram submetidas com o objetivo identificar e categorizar automaticamente o estado das plantas como saudáveis, afetadas por fungos ou por bactérias.

Avaliação do Modelo

Avaliação do Modelo é o processo de medir o desempenho de um modelo de ML a fim de determinar sua eficácia em realizar a tarefa para a qual foi treinado. A avaliação é fundamental para verificar se o modelo está generalizando adequadamente, ou seja, se é capaz de fazer previsões precisas com dados novos e que não foram utilizados durante o treinamento. Após o treinamento, o modelo é testado em um conjunto de dados separado, para medir seu desempenho. A análise de erros ajudou a identificar possíveis ajustes, como coletar mais dados ou ajustar parâmetros. Na aplicação a métrica utilizada para avaliar a capacidade do modelo em identificar e classificar os objetos corretamente foi a acurácia, que é medida no conjunto de teste para determinar a capacidade do modelo de fazer generalização para novos dados. O objetivo foi obter uma medida precisa de como o modelo se comportará em cenários reais e garantir que atenda aos requisitos e objetivos do projeto.

Aplicativo e Integração IoT

Foi desenvolvido no Android Studio um aplicativo com o objetivo de fornecer solução prática e acessível para que pequenos agricultores e estudantes de agrotécnica possam identificar doenças nas plantações de alface partir da utilização de IoT. O aplicativo visa facilitar o diagnóstico precoce de problemas fitossanitários através de uma interface intuitiva e recursos de classificação de imagens. A plataforma oferece as ferramentas necessárias para integrar recursos como câmeras, conectividade IoT e processamento de dados em tempo real. Foi feita a captura de imagens da alface por meio desse aplicativo. O dispositivo transmite as informações via protocolo de comunicação MQTT a um servidor no Google Cloud que, por sua vez, utiliza modelos de ML, como o YOLOv8, para identificar e classificar doenças nas plantas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CLASSIFICAÇÃO DE DADOS

A etapa de classificação de dados foi fundamental no desenvolvimento do modelo de ML porque avaliou a capacidade do modelo em identificar e categorizar corretamente os exemplos em suas classes predefinidas. Foi utilizado no experimento o modelo YOLOv8n, otimizado para detecção e classificação de objetos. A análise dos resultados dessa etapa avaliou acurácia, taxas de erro e qualidade das previsões feitas pelo modelo para diferentes categorias de alfaces: bacterial (bactérias), Fungal (fungos) e Healthy (saudáveis). A aplicação do modelo YOLOv8n para a classificação de doenças em plantas de alface apresentou resultados consistentes e promissores, considerando-se a base de dados utilizada e os cenários simulados.

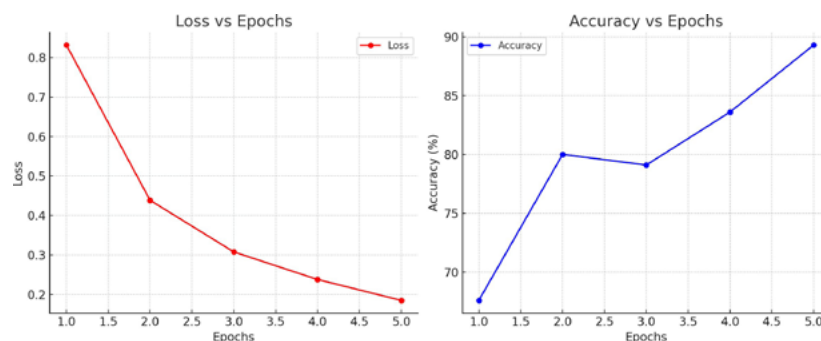
TREINAMENTO E AVALIAÇÃO DO MODELO

A partir do treinamento, observou-se que, no desempenho, a acurácia obtida no conjunto de teste foi de 89,3%, indicando que o modelo conseguiu classificar corretamente a maioria das imagens em suas respectivas categorias: bacterial (bactérias), fungal (fungos) e healthy (saudáveis). A análise dos resultados em cada classe mostrou que as amostras de alfaces saudáveis tiveram a maior taxa de acerto, enquanto as classes de fungos e bactérias apresentaram taxas ligeiramente inferiores, possivelmente devido à similaridade visual entre algumas doenças.

Para melhor desempenho e precisão no treinamento do modelo, considerou-se a distribuição de dados equilibrada das amostras entre treino, validação e teste, o que permitiu que o modelo aprendesse

de forma eficiente e evitasse problemas de sobreajuste (overfitting), que correm quando um modelo de ML se ajusta excessivamente aos dados de treinamento, aprendendo detalhes e padrões específicos desses dados, incluindo ruídos ou variações irrelevantes, em vez de capturar as características gerais necessárias para fazer previsões em dados novos. O método de aprendizado por inferência usando o YOLOv8n se mostrou adequado, possibilitando o treinamento com recursos computacionais limitados no Google Colab. A figura 2 apresenta os resultados de Loss (perda) e Accuracy (acuracidade), úteis para avaliar o desempenho do modelo durante o treinamento.

Grafico 1 - Resultados de perda e acurácia dos treinamentos

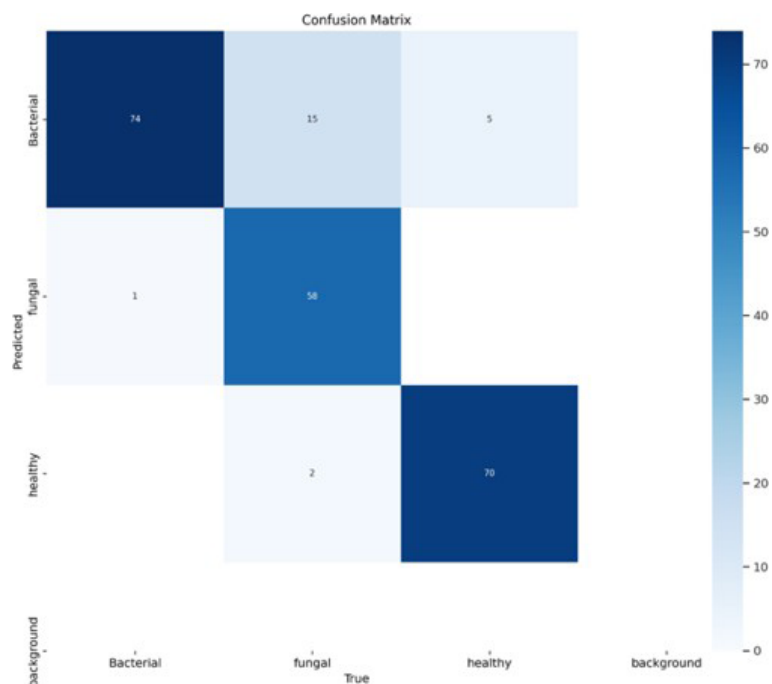


Fonte: dados coletados pelos autores.

No experimento foram realizados treinamentos de cinco epochs. Esse método permitiu que o algoritmo aprendesse com os dados de treinamento e ajustasse seus parâmetros para fazer previsões mais precisas. O gráfico 1 mostra a relação entre as épocas (epochs) do treinamento com a perda (loss) e a acuracidade (accuracy). O gráfico de Loss (à esquerda) mostra diminuição constante da perda ao longo das épocas, indicando que o modelo está aprendendo e ajustando os pesos de forma eficiente; o gráfico de Accuracy (à direita) demonstra aumento progressivo na acurácia, atingindo no seu topo 89,3% na última época, o que sugere que o modelo está melhorando sua capacidade de prever corretamente os dados.

Outro resultado nesta etapa foi o comportamento da matriz de confusão, ferramenta fundamental para avaliar o desempenho de modelos de classificação. O foco foi oferecer a visão detalhada de como o modelo está se saindo na tarefa de classificação. Ela demonstra não apenas o número de acertos, mas também os tipos de erros que o modelo está cometendo. O gráfico 2 apresenta os resultados após os treinamentos dos modelos, quando as alfaces foram divididas em três classes: bacteriana (bactérias), fungo (fungos) e saudável (saudáveis), cuja lógica foi de avaliar a precisão do modelo de ML em identificar as classes com base em imagens. Em uma escala de 0 a 70 de amostras validadas, encontram-se no eixo horizontal os resultados esperados e, no vertical, os resultados obtidos.

Gráfico 2 - Matriz de confusão



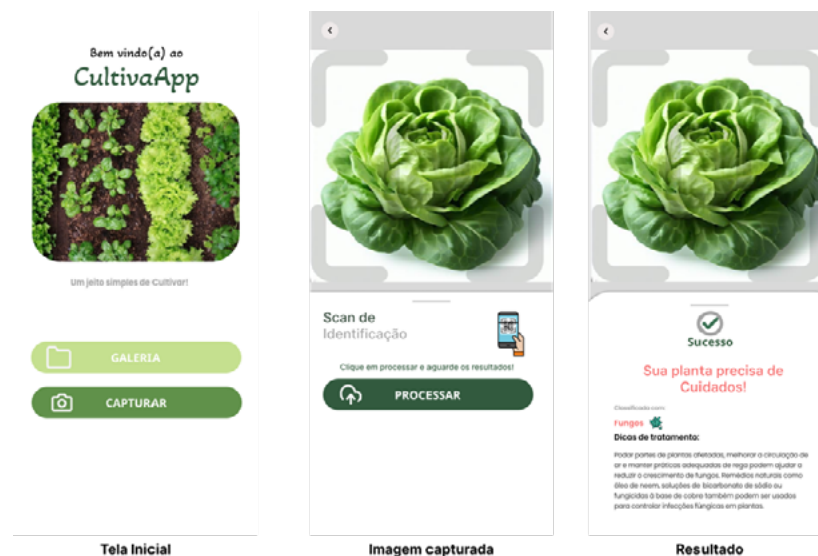
Foram utilizados como parâmetros de comparação as classes bacterial (bactérias), fungal (fungos) e healthy (saudáveis), cujos acertos estão destacados nas cores em tons azuis na linha diagonal principal. O resultado esperado para bactéria apresentou 74 acertos e um erro, porque foi confundida com fungo; na classe de fungos houve 58 acertos, com 15 amostras confundidas com bactérias e duas como saudáveis; nas amostras da classe saudáveis houve 70 acertos e 5 enganos, ao confundir amostras saudáveis com amostras com bactérias.

Esses resultados indicam que, quanto maior o percentual de acuracidade durante o treinamento dos modelos, maior tende a ser a precisão na leitura das imagens. Esse fato ocorre porque os resultados evidenciam o desempenho do modelo na classificação das alfaces, ressaltando tanto as taxas de acerto quanto os casos de confusão entre as classes. Isso se dá pelo fato de que o processo se fundamenta na análise de características extraídas das alfaces, como cor, textura e outras propriedades visíveis nas imagens, o que possibilita uma avaliação precisa e automatizada do estado das plantas.

APLICATIVO E INTEGRAÇÃO IOT

O aplicativo desenvolvido no Android Studio demonstrou ser funcional e acessível porque permitiu a captura de imagens diretamente no campo e fez a transmissão via protocolo MQTT para o servidor na Google Cloud. O protocolo de comunicação escolhido se mostrou de fácil acesso e baixa complexidade. A interface do usuário foi projetada para ser simples e intuitiva, permitindo que os seus usuários visualizassem rapidamente o estado das plantas, recebessem as informações sobre possíveis doenças e acessassem as dicas de tratamento. A figura 5 mostra o protótipo de alta fidelidade do aplicativo desenvolvido.

Figura 3 - Protótipo do aplicativo



Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 3 permite ver que existem três imagens em destaque. A primeira imagem (da esquerda para a direita) mostra a tela inicial que, por ser aplicativo simples, dispensa o uso de login; a segunda mostra a imagem capturada e o botão para processar, que permite o envio da imagem para o servidor, para que seja feita a análise e o processamento; a terceira imagem demonstra os resultados processados. A integração com IoT e a utilização de modelos treinados com o YOLOv8n tornaram a solução escalável e acessível, principalmente para usuários que dispõem de recursos tecnológicos limitados. O uso de dispositivos móveis como clientes e a hospedagem na nuvem garantiram flexibilidade e eficiência no processamento, possibilitando o uso em diferentes contextos.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A acurácia global do modelo foi considerada satisfatória, mas o desempenho pode ser ainda mais aprimorado com a inclusão de novas imagens no conjunto de dados, especialmente para casos específicos de doenças bacterianas e fúngicas. A base de dados utilizada é robusta, mas sua expansão com imagens coletadas localmente pode melhorar a generalização do modelo para condições específicas da região. Investimentos em hardware, como dispositivos de captura de maior qualidade, e ajustes no protocolo MQTT, podem otimizar a conectividade e o fluxo de dados em tempo real. As métricas adicionais, como precisão e recall, podem ser incorporadas nas próximas análises para uma avaliação mais detalhada do desempenho, especialmente em casos de dados desbalanceados, assim como poderão ser incluídas novas espécies de plantas para identificação.

A solução automatiza o processo de identificação de doenças e pode promover o aprendizado prático nos cursos de agrônomos, aproximando estudantes das tecnologias emergentes no setor agrícola. Para agricultores, o diagnóstico precoce pode levar à redução significativa no uso de pesticidas e no impacto ambiental, promovendo a agricultura mais sustentável.

CONCLUSÃO

Este estudo mostrou a IoT pode ser utilizada como recurso para identificação de doenças e disponibilização de tratamento. Os resultados demonstraram que o modelo YOLOv8n, aliado ao aplicativo móvel desenvolvido, oferece solução prática, eficiente e acessível para identificação de doenças em alfaces. A integração com IoT e o foco na usabilidade tornaram a ferramenta promissora,

tanto para fins educacionais quanto produtivos, contribuindo diretamente para a modernização e a sustentabilidade da agricultura. No experimento foi observada a eficácia da combinação de técnicas de ML, com ênfase no modelo YOLOv8n, e a integração com IoT para a identificação automática de doenças em plantas de alface. A utilização da base de dados "Lettuce Plant Disease Dataset" permitiu o treinamento de um modelo robusto, alcançando acurácia de 89% no conjunto de teste. Essa precisão é indicativo de que o modelo é capaz de classificar corretamente a maioria das imagens nas três classes estabelecidas: bacteriana, fúngica e saudável.

Embora o modelo tenha apresentado desempenho satisfatório, especialmente na classificação das amostras saudáveis, foram observadas taxas ligeiramente inferiores nas categorias de doenças fúngicas e bacterianas devido à semelhança visual entre as classes. A metodologia adotada, incluindo coleta de dados, treinamento com aprendizado por transferência, avaliação com métricas como acurácia e análise de erros, evidenciou a robustez do modelo. No entanto, a inclusão de imagens adicionais, especialmente de fontes locais, pode aprimorar ainda mais a capacidade de generalização, tornando o modelo mais sensível às variações regionais e específicas das doenças. A integração com IoT e o desenvolvimento de aplicativo móvel permitiu a criação de solução prática e acessível para agricultores e estudantes, com fluxo de trabalho eficiente desde a captura de imagens até a análise e diagnóstico em tempo real na nuvem. O uso do protocolo MQTT e a interface simples do aplicativo garantiram a facilidade de acesso e uso, mesmo para usuários com recursos tecnológicos limitados.

Em perspectiva, o projeto não só contribui para a automação do diagnóstico de doenças em plantações de alface, mas oferece oportunidade de aprendizado prático no campo da agrotecnologia. A solução proposta pode resultar em agricultura mais eficiente, com benefícios como a redução do uso de pesticidas e maior sustentabilidade, contribuindo para o avanço da tecnologia no setor agrícola.

SUMÁRIO

Para trabalhos futuros, são recomendadas a expansão do banco de dados com mais imagens, a implementação de métricas adicionais de desempenho e a possibilidade de incluir outras espécies de plantas, para aumentar a aplicabilidade, a precisão do modelo e a consolidação de solução escalável e robusta para o diagnóstico de doenças em diversas culturas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à nossa família, que sempre apoiou essa jornada; a todos os professores, que compartilharam seus conhecimentos conosco e nos incentivaram a chegar até aqui; e ao Projeto ARANOÚÁ, executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., que investiu os recursos previstos na Lei Federal nº 8.387/1991. Esta divulgação e publicidade está em conformidade com o previsto no artigo 39º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

ADEBAYO, S. *et al.* Computer vision and control algorithm for sustainable and precision agriculture. **SN Computer Science**, v. 6, n. 4, p. 362, 2025. <https://doi.org/10.1007/s42979-025-03882-w>.

ADHIKARI, M. S. *et al.* AI and IoT integration for smart agriculture. *In: VERMA, Y. K. et al.* (eds.). **Smart electronic devices: Artificial intelligence, machine learning, and the future**. Boca Raton: CRC Press, 2025, p. 30-44.

ALRUSAINI, O. A. A hybrid structural equation modeling–artificial intelligence model for enhancing cybersecurity of personal information in mobile applications. **International Journal of Human-Computer Interaction**, p. 1-16, 2025. <https://doi.org/10.1080/10447318.2025.2508314>.

ANDRADE, D. C.; GARCÍA, F. L. D. B. Diseño de una prótesis phygital para espacios urbanos: Fusión de realidades digitales y físicas. **Street Art & Urban Creativity**, v. 11, n. 1, p. 163-178, 2025. <https://doi.org/10.62161/sauc.v11.5684>.

ANSARI, N.; KATARIA, D.; VALA, Y. Application of machine learning in the field of forensic medicine. *In*: Ansari, N. (ed.) **Machine learning in forensic evidence examination**. Boca Raton: CRC Press, 2025, p. 61-83.

ARMBRUST, M. *et al.* A view of cloud computing. **Communications of the ACM**, v. 53, n. 4, p. 50-58, 2010. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>.

ASTHANA, S.; BHUJADE, R. K. AI-driven predictive modeling for crop disease detection. **International Journal of Environmental Sciences**, v. 11, n. 1, p. 54-64, 2025. <https://doi.org/10.64252/pqah8r60>.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.

BARRIOS-ULLOA, A. *et al.* Agriculture 5.0 in Colombia: Opportunities through the emerging 6G network. **Sustainability**, n. 17, n. 15, p. 6664, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17156664>.

BEDI, P.; GOLE, P.; AGARWAL, S. K. Using deep learning for image-based plant disease detection. *In*: Jain, V. *et al.* (eds.) **Internet of things and machine learning in agriculture**. Berlin: de Gruyter, 2021, p. 369-402.

BELLOUT, A. *et al.* LT-YOLOv10n: A lightweight IoT-integrated deep learning model for real-time tomato leaf disease detection and management. **Internet of Things**, p. 101663, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijot.2025.101663>.

BOURSIANIS, A. D. *et al.* Internet of things (IoT) and agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. **Internet of Things Journal**, v. 18, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijot.2020.100187>.

CARNIEL, R.; GUZMÁN, S. R. Machine learning for volcanology and volcano monitoring. *In* SPICA, Z.; CAUDRON, C. (Eds.) **Modern volcano monitoring**. Cham: Springer Nature, 2025, p. 421-459. https://doi.org/10.1007/978-3-031-86841-2_14.

DIXIT, M. Comprehensive examination of automation approaches for the study and detection of disparate leaf diseases using computational intelligent systems. *In*: SHARMA, V. K.; GUPTA, S. K. (Eds.) **High-Performance automation methods for computational intelligent systems**. Boca Raton: CRC Press, 2025, p. 123-150.

DONG, Y.; LIU, L.; ZHAI, X.; LI, W. Artificial intelligence in agricultural pest and disease management: Current applications and future prospects. **Advances in Resources Research**, v. 5, n. 2, p. 971-986, 2025. https://doi.org/10.50908/arr.5.2_971.

FAROOQ, M. S. *et al.* A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart farming. **IEEE Access**, v. 7, p. 156237-156271, 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2947014>.

FERENTINOS, K. P. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 145, p. 311-318, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>.

GANYA, J. *et al.* Smart agriculture: IoT and AI-driven solutions for optimized crop management and sustainable farming. *In: 2025 International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT)*. IEEE 2025, p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICITIIT64777.2025.11040493>.

GAWADE, P. *et al.* Cloud based IoT system for plant health monitoring. *In: 2025 Global Conference in Emerging Technology (GINOTECH)*. IEEE 2025, 1-6. <https://doi.org/10.1109/GINOTECH63460.2025.11076950>.

GONDHALEKAR, V. *et al.* IoT-based smart agriculture: A systematic review. **Sensors**, v. 21, n. 11, p. 3758, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21113758>.

GOWDA, V. D. *et al.* IoT-enabled energy storage systems: Challenges and solutions. *In: KUMAR, A. et al. (Eds.). Secure Energy Optimization: Leveraging internet of things and artificial intelligence for enhanced efficiency*. Beverly: Scrivener, 2025, p. 135-163. <https://doi.org/10.1002/9781394271849.ch6>.

GOYAL, S. R. *et al.* A comparative analysis of efficacy of machine learning techniques for disease detection in some economically important crops. **Crop Protection**, v. 190, p. 107093, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.107093>.

GUBBI, J. *et al.* Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.

GÜÇLÜ, S. F. Modelling of pome fruit pollen performance using machine learning. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 6913, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91286-4>.

HAO, Q.; LIU, R. Towards integrating behavior-driven development in mobile development: An experience report. *In: Proceedings of the 56th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, v. 1, p. 450-456), 2025. <https://doi.org/10.1145/3641554.3701875>.

HRIDOY, R. H. *et al.* Deep neural networks-based recognition of betel plant diseases by leaf image classification. *In: SUMA, V. et al. (Eds.) Evolutionary computing and mobile sustainable networks: Proceedings of ICECMSN 2021*. Singapore: Springer, 2022, p. 227-241. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9605-3_16.

JAFFRIN, L. C.; NITHYA, T.; DIVYA, J. IoT for sustainable development: enhancing environmental efficiency and resource optimization. *In: 2025 5th International Conference on Trends in Material Science and Inventive Materials (ICTMIM)*. IEEE 2025, p. 1224-1230. <https://doi.org/10.1109/ICTMIM65579.2025.10988004>.

KALER, B.; KAUR, A. A systematic survey on explainable artificial intelligence (XAI) for plant health monitoring: challenges and opportunities. *Applied Intelligence*, v. 55, n. 12, p. 889, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10489-025-06790-x>.

KEMPELIS, A. *et al.* Computer vision and machine learning-based predictive analysis for urban agricultural systems. *Future Internet*, v. 16, n. 2, p. 44, 2024. <https://doi.org/10.3390/fi16020044>.

KILCI, O.; KOKLU, M. Guava fruit disease classification using deep learning and machine learning models. *Research in Agricultural Sciences*, v. 56, n. 3, p. 217-226, 2025. <https://doi.org/10.17097/agricultureatauni.1665941>.

KUBBA, A.; WASSON, V. Smart agriculture: identifying plant leaf diseases with machine learning. *In: 2025 international conference on electronics, ai and computing (EAIC)*. IEEE 2025, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/EAIC66483.2025.11101351>.

KUMARI, R. *et al.* Evolution of cloud computing, impact, challenges and future prospects. *In: Parul University International Conference on Engineering and Technology 2025 (PiCET 2025)*, v. 2025, p. 1718-1724, 2025. IET. <https://doi.org/10.1049/icp.2025.1701>.

KURNIAWAN, W. M.; GAMBETTA, I. W.; ALFIANNY, I. R. Explainable artificial intelligence (XAI) application on classification of diseases and symptoms of pest infestation on plants (case study on rice plant leaves). *In: 2024 IEEE International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*. IEEE 2024, 137-142. <https://doi.org/10.1109/ICoDSE63307.2024.10829875>.

LANFRANCHI, G.; CRUPI, A.; CESARONI, F. Internet of things (IoT) and the environmental sustainability: A literature review and recommendations for future research. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, p. 1-23, 2025. <https://doi.org/10.1002/csr.70098>.

MANSOOR, S. *et al.* Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future prospectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1587869, 2025. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>.

MESHARAM, M. S. A.; CHOUDHARI, N. K. Real-time prediction of crop diseases using iot-enabled data acquisition and machine learning. **Lex localis-Journal of Local Self-Government**, v. 23, n. S1, p. 57-77, 2025. <https://doi.org/10.52152/800209>.

MOHANTY, S. P. *et al.* Using deep learning for image-based plant disease detection. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-10, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>.

NAZULI, M. F. *et al.* A image classification of poisonous plants using the MobileNetV2 convolutional neural network model method. **Matrik: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer**, v. 24, n. 2, p. 371-380, 2025. <https://doi.org/10.30812/matrik.v24i2.4284>.

OMER, S. M.; GHAF00R, K. Z.; ASKAR, S. K. Lightweight improved yolov5 model for cucumber leaf disease and pest detection based on deep learning. **Signal, Image and Video Processing**, v. 18, n. 2, p. 1329-1342, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11760-023-02865-9>.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering: A practitioner's approach**. 8. ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

RAHMAN, M. *et al.* Mobile applications in agriculture: A systematic literature review. **IEEE Access**, v. 6, p. 65248-65263, 2018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2871033>.

RAMIREZ, C. A.; AGRAWAL, P.; THOMPSON, A. E. An approach integrating model-based systems engineering, iot, and digital twin for the design of electric unmanned autonomous vehicles. **Systems**, v. 13, n. 2, p. 73, 2025. <https://doi.org/10.3390/systems13020073>.

RANJAN, C.; KUMAR, K. Innovations in autonomous drones for precision agriculture: techniques and applications. *In*: Bora, D. J., & Bania, R. K. (eds.) **Computer vision techniques for agricultural advancements**. Hershey: IGI Global, 2025, p. 321-362. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8019-2.ch011>.

SUMÁRIO

RASCHKA, S.; MIRJALILI, V. **Python machine learning**. 3. ed. Birmingham: Packt, 2019.

REDDY, C. H. *et al.* Artificial intelligence in the new era of sericulture. **Journal of Scientific Research and Reports**, n. 31, n. 8, 2025, 788-803. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i83422>.

ROCHA, E. G. *et al.* Agrobiodiversity and agriculture 4.0 challenges with seed: Existing improvements, but how about erosion? In DESHPANDE, A. B.; ESTRELA, V. V.; KHAN, A. (Eds.) **Intelligent designs, innovations and sustainability in agriculture 4.0**. Boca Raton: CRC Press, 2025, p. 115-131.

SADOTRA, P. *et al.* Integrating artificial intelligence & IoT for precision farming: Advancing agriculture 4.0 solutions. **International Journal of Human Computations & Intelligence**, v. 4, n. 4, p. 521-534, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15554607>.

SALEH, A. *et al.* Machine learning-based classification of cotton diseases using mobilenet and support vector machine. *In: 2024 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt)*. IEEE, 2024, p. 165-171. <https://doi.org/10.1109/ITC-Egypt61547.2024.10620532>.

SANCHIT, B. *et al.* Extended reality and immersive multimedia for gaming applications. In SHARMA, R.; KUMAR, R., PATNAIK, P. K. (Eds.) **Multimedia technologies in the internet of things environment**. Singapore: Springer Nature, 2025, p. 243-271. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4356-1_11.

SAVAS, S.; GHARIBZAHEDI, S. M. T. Smartphone-integrated electrochemical devices for contaminant monitoring in agriculture and food: A review. **Biosensors**, v. 15, n. 9, p. 574, 2025. <https://doi.org/10.3390/bios15090574>.

SHARMA, A. *et al.* Machine learning applications in plant disease detection: A survey. **Artificial Intelligence Review**, v. 54, n. 3, p. 2431-2459, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09854-6>.

SIKORA, A. Industrial IoT-and ot-networks: Recent trends in real-time and secure communication. In **2025 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)**. IEEE 2025, p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICEST66328.2025.11098300>.

SILVA, J. M. P.; CAVICHIOLI, F. A. Uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 131-143, 2020. <https://doi.org/10.31510/infav17i2.1068>.

SINTHUJA, P. M., KUMARAN, K. M.; SHAKEEL, A. K. M. Revolutionizing seed plant classification: CNN approaches for enhanced accuracy. *In: MERCIER-LAURENT, E. et al. (Eds.) International Conference on Computational Intelligence in Data Science*. Cham: Springer Nature, 2025, p. 2002-213. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98360-3_16.

SLADOJEVIC, S. *et al.* Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. **Computational Intelligence and Neuroscience**, p. 1-11, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>.

STROPARO, T. R. Transformação digital na agricultura: impactos da internet das coisas (IoT) na eficiência produtiva e sustentabilidade. **Lumen et Virtus**, v. 15, p. 38, p. 1573-1581, 2024. <https://doi.org/10.56238/levv15n38-102>.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. *Computer Networks*. 5. ed. New York: Pearson, 2011.

UMAMAHESWARI, K. *et al.* Enhancing data security in android systems through an intermediary layer for unauthorized access prevention. *In: 2025 6th International Conference for Emerging Technology (INCET)*. IEEE 2025, p. 1-18. <https://doi.org/10.1109/INCET64471.2025.11140054>.

UPADHYAY, A. *et al.* Deep learning and computer vision in plant disease detection: a comprehensive review of techniques, models, and trends in precision agriculture. **Artificial Intelligence Review**, v. 58, n. 3, p. 92, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11100-x>.

ZHANG, Z. *et al.* Automated grading of angelica sinensis using computer vision and machine learning techniques. **Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 507, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030507>.

ZHAO, B. *et al.* Design and optimization of an internet of things-based cloud platform for autonomous agricultural machinery using narrowband internet of things and 5G dual-channel communication. **Electronics**, v. 14, n. 8, p. 1672, 2025. <https://doi.org/10.3390/electronics14081672>.

6

*Jonas Januário dos Santos
Cristiano Campos Nascimento
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

**SENSORIAMENTO REMOTO
EM TRILHA ECOLÓGICA
UTILIZANDO LORA**

SUMÁRIO

RESUMO:

Esse artigo explora a aplicação da tecnologia LoRa (Long Range) no sensoriamento remoto em consonância com a Internet das Coisas (IoT) auxiliando no monitoramento ambiental, especialmente em áreas de difícil acesso. Este estudo apresenta um cenário de monitoramento de variáveis ambientais na Trilha Ecológica Saimiri, localizada no IFAM/CMDI. Utilizando sensores para medir temperatura, umidade e qualidade do ar, foi implementado um sistema de coleta e transmissão de dados em uma rede LoRa configurada em topologia estrela. Os resultados indicaram a eficácia do LoRa na transmissão de dados a longas distâncias, mesmo em ambientes de mata fechada, destacando sua viabilidade para aplicações de baixo custo e alta eficiência em regiões remotas. O protótipo desenvolvido permite monitoramento em tempo real, com potencial para prevenir desastres ecológicos, como incêndios florestais. Este trabalho contribui para a expansão do uso da IoT em ecossistemas naturais, oferecendo uma solução replicável e sustentável para a conservação ambiental.

Palavras-chave: LoRa, LoRaWAN, Sensores, Monitoramento Ambiental, Internet das Coisas

INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) e as redes de sensores sem fio (RSSF) têm se consolidado como ferramentas essenciais no monitoramento ambiental (Ramani *et al.*, 2025; Eteng, 2025; Mishra, 2025), especialmente em contextos onde a infraestrutura tradicional de comunicação é limitada (Jogekar; Sinh, 2025; Liu *et al.*, 2025a). Entre as tecnologias nesse campo, destaca-se o LoRa (Long Range), que permite transmissões de longo alcance com baixo consumo de energia, utilizando frequências de rádio em bandas não licenciadas e de baixa frequência (Pires *et al.*, 2025; Kahyap *et al.*, 2025; Liu *et al.*, 2025b; Sarkar, 2025). A IoT potencializa essas aplicações ao integrar dispositivos inteligentes em uma rede capaz de coletar, processar e armazenar dados em tempo real e oferecer soluções inovadoras (Pramanik *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025). A IoT pode ser compreendida como a capacidade de coisas se conectarem à internet de modo que possam atuar e interagir com o ambiente através de atuadores e sensores, realizando tarefas, coletando dados e trazendo-os para o mundo digital, para análises, tomada de decisões, armazenamento, de informações etc. (Santos; Gonçalves, 2023; Dwivedi *et al.*, 2025; Rosiana *et al.*, 2025). A junção dessas duas tecnologias pode ajudar a mitigar o problema das queimadas na Amazônia.

O grande número de queimadas nas vegetações da Amazônia é cada vez mais preocupante porque representa ameaça direta à biodiversidade e à saúde dos habitantes da região. Essas queimadas, muitas vezes são intensificadas por condições climáticas adversas e práticas seculares de uso do fogo para o preparo da terra para cultivo (Sampaio *et al.*, 2008; Cardoso *et al.*, 2021), destacam a urgência de iniciativas voltadas para a preservação ambiental. Dado o contexto de vastas áreas de difícil acesso na região amazônica,

a implementação de tecnologias de monitoramento, como a LoRa, surge como uma solução viável para acompanhar variáveis ambientais críticas, facilitar tomadas de decisão rápidas e contribuir para a prevenção de desastres ecológicos. Assim, este trabalho não apenas reforça a preocupação com a conservação do meio ambiente, mas também propõe o uso de soluções tecnológicas acessíveis e eficientes para mitigar os impactos das queimadas e melhorar o monitoramento em áreas remotas.

Apesar de suas vantagens, o uso do LoRa para sensoriamento remoto em ecossistemas como a Amazônia ainda enfrenta desafios, como interferências naturais (Zhang; Yang, 2025), limitações de alcance do sinal em mata fechada (Hendry; Manongga, 2024) e condições climáticas adversas (Rajagopalan; Patel, 2025). O processo de detecção e transmissão de dados em redes sem fio segue etapas que envolvem a coleta de dados ambientais por sensores, o envio das informações através de módulos LoRa para um gateway e a disponibilização desses dados em servidores locais ou na nuvem. Nesse contexto, surgiu a preocupação com a Trilha Ecológica Saimiri, localizada nas dependências do IFAM Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM/CMDI), que serviu como ponto inicial para esta pesquisa porque há a ocorrência de focos de incêndios nas áreas dematas urbanas da capital amazonense, inclusive nessa trilha ecológica. Neste sentido, este estudo teve como objetivo implementar e avaliar uma solução de monitoramento ambiental baseada na tecnologia LoRa em uma trilha ecológica urbana, com foco na coleta, transmissão e análise de dados ambientais. Especificamente, busca-se a) desenvolver uma rede de sensores sem fio para monitorar variáveis como temperatura, umidade, qualidade do ar e fumaça; b) avaliar o desempenho do sinal LoRa em ambientes de mata fechada, considerando variáveis como RSSI e SNR; e c) criar um protótipo de aplicação para visualização em tempo real dos dados coletados.

O estudo foi motivado pelas dificuldades em realizar pesquisas em ambientes remotos, com limitações de infraestrutura e conectividade, destacando a relevância de tecnologias de baixo custo, baixo consumo de energia, baixa frequência, baixa taxa de dados e longo alcance com alta eficiência (Cunha; Valim, 2020). A proposta de integrar essas tecnologias em um ecossistema sensível como a Trilha Ecológica Saimiri demonstra o potencial de gerar soluções replicáveis para outras regiões e estudos ambientais. O estudo foi conduzido nessa trilha, localizada no campus do IFAM/CMDI, abrangendo uma área de 236.700 m² de floresta preservada (Correa *et al.*, 2024). Utilizou-se um sistema baseado em módulos LoRa TTGO T-Beam e sensores ambientais como o DHT-11, MQ-135 e MQ-7, configurados em uma topologia de rede estrela. Os dados coletados foram transmitidos para um gateway, processados por um servidor local e disponibilizados em uma aplicação web. As etapas incluíram a configuração dos dispositivos, testes preliminares no campus e experimento em campo na trilha ecológica, onde foram avaliadas variáveis como intensidade do sinal, distância percorrida e qualidade do ar.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

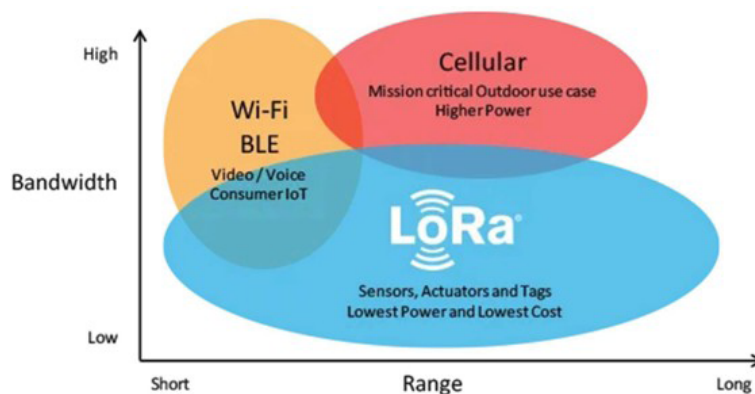
Os materiais utilizados no experimento foram selecionados com base na viabilidade técnica e no baixo custo, sendo adquiridos com o apoio da coordenação do curso, professor orientador e co-orientador, e recursos do próprio autor. A Tabela 1 mostra a relação dos materiais utilizados no experimento, suas especificações e funções:

Tabela 1 - Lista de Materiais

Quantidade	Material	Especificações	Função
02	Placa Lora TTGO T-Beam	915Mhz, GPS NEO-6M, Memória 4MB	Transmissão e recepção de dados via LoRaWAN
01	Sensor DHT-11	Temperatura (0-50°C), Umidade (20-90%)	Monitoramento da temperatura e umidade
01	Sensor MQ-135	Detecção de amônia, benzeno, CO	Análise da qualidade do ar
01	Sensor MQ-7	Detecção de monóxido de carbono (CO)	Monitoramento da presença de gases nocivos
02	Fonte de Alimentação	Bateria de 18650 Li-ion 8800mAh 4.2V	Fornecimento de energia aos módulos
	Jumpers e Resistores	Diversos	Conexão e proteção do circuito
01	Notebook	Samsung Book Intel Core I7 11ª geração, 8GB de RAM, S.O: Windows 11 HSL; Arduino IDE	Configuração e Programação dos dispositivos

Fonte: elaborado pelos autores.

A LoRa é uma tecnologia de comunicação sem fio projetada para transmitir pequenas quantidades de dados a longas distâncias com baixo consumo de energia. Ela é baseada em uma técnica de modulação chamada chirp spread spectrum (CSS), que permite uma transmissão robusta mesmo em ambientes com interferência. Suas características principais são: a) longo alcance: há conexões que podem alcançar até 10-15 km em áreas rurais e 2-5 km em áreas urbanas; b) baixo consumo de energia: o que a torna ideal para dispositivos movidos a bateria que precisam durar anos sem recarga; c) baixa taxa de dados: uma vez que suporta taxas de transmissão de dados típicas entre 0,3 kbps e 50 kbps, ideal para aplicações de IoT. A Figura 1 ilustra as tecnologias de rede sem fio e seus alcances

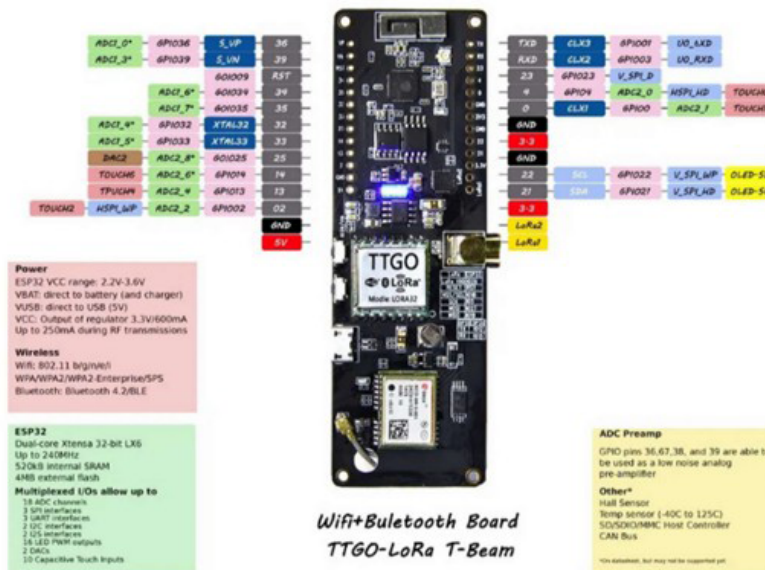
Figura 1 - Demonstração da rede LoRa com largura da banda vs Alcance

Fonte: www.thethingsnetwork.org

O indicador acima apresenta a largura da banda pelo cumprimento de alcance, demonstrando um comparativo entre as redes sem fio Wi-Fi e BLE que possui uma maior largura de banda. Também mostra a intensidade e a largura da banda utilizada pelos smartphones. Por fim, percebemos que a tecnologia LoRa apresenta uma baixa largura de banda, porém com um expressivo longo alcance comparado as outras tecnologias de rede sem fio. Por isso LoRa é ideal para aplicações que transitem pequenos pacotes de dados, como dados dos sensores comprovando que a LoRa é amplamente utilizado em aplicações de IoT (Internet das Coisas) como monitoramento ambiental, agricultura de precisão, cidades inteligentes e redes industriais.

A placa LoRa TTGO T-Beam pode ser adquiridas por aproximadamente US\$ 29,45 cada na internet e vem com uma pequena antena para LoRa e assim podemos afirmar que é um Projeto com baixo custo, comparando com outros equipamentos profissionais disponíveis no mercado que podem custar centenas de dólares, mais taxas de importação. A Figura 2 ilustra os detalhes técnicos do equipamento.

Figura 2 - Pinagem do módulo LoRa TTGO T-Beam V1.0



Fonte: www.thethingsnetwork.org

A placa LoRa TTGO T-Beam inclui as principais funções: Wireless, Bluetooth, 4MB de memória flash, antena 3D, Voltagem de 1.8 ~3.7V, Corrente de 10~14mA, Força de transmissão + 20dBm, Função digital RRSI, Função RF e GPS. O Sensor DHT-11 é um componente que pode medir a Temperatura de 0°C até 50°C, e a Umidade entre 20% e 90%, conforme Figura 3. Tem um ótimo desempenho, oferecendo excelente qualidade, resposta rápida, anti-interferência, capacidade e custo-benefício. As características dos pinos são: o primeiro (VCC) é o terminal de alimentação, que conforme datasheet do fabricante pode ser entre 3 V e 5,5 V. O segundo (OUT) é o pino de comunicação de dados, será através dele que o valor da temperatura e umidade serão comunicados a placa LoRa. O último (GND) é o terminal de terra do sensor.

No experimento, foi utilizado para coletar dados de temperatura e umidade. O DHT11 é constituído de duas partes principais: um sensor de umidade capacitivo e um sensor de temperatura termistor NTC, isto é um resistor sensível à variação de temperatura. O sensor MQ-135 é capaz de detectar concentrações entre 10 e 300 ppm (partes por milhão) de amônia e álcool e entre 10 e 1000 ppm de benzeno no ar, como visto na Figura 3. A sensibilidade do sensor pode ser ajustada através de um trimpot localizado atrás da placa. Quando algum gás ultrapassa o nível ajustado no trimpot, a saída digital do sensor (DO) fica em nível alto. Em concentrações normais, a saída digital permanece em nível baixo. O módulo também possui uma saída analógica (AO), que permite medir a concentração de gases no ar com precisão. A alimentação do MQ-135 é de 5 VDC e a leitura e envio das informações é feita pelo CI LM393.

Figura 3 - Sensores DHT-11, MQ-135 e MQ-7



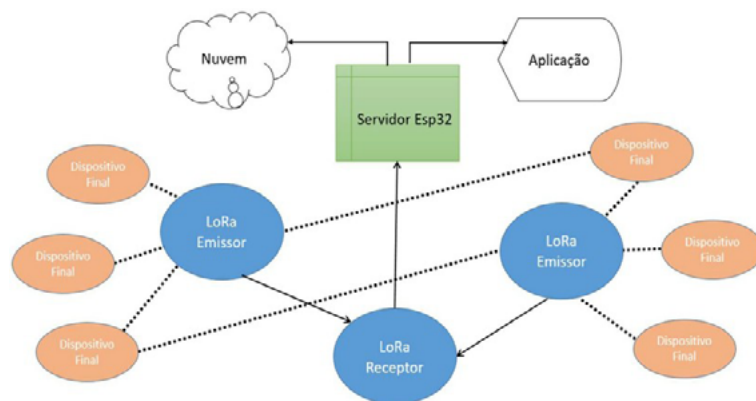
Fonte: makerhero.com

O sensor MQ-7 é capaz de detectar gás de Monóxido de Carbono (CO) conforme Figura 3, e esse gás é altamente tóxico para o ser humano e tem as seguintes características: detecção do gás Monóxido de Carbono; concentração de detecção: 10-10.000ppm; tensão de operação: 3- 5V; resistência de aquecimento: $31\Omega \pm 3\Omega$; tensão de aquecimento: $5V \pm 0,2V$; Saída Digital e Analógica. Os terminais do MQ-7 seguem a pinagem do fio terra (GND), saída digital (DOUT), saída analógica (AOUT) e tensão de 5V (VCC). Utilizamos o sensor MQ-135 para medir a qualidade do ar e o sensor MQ-7 para medir gases e fumaça.

TOPOLOGIA DE REDE

A comunicação da placa LoRa foi estabelecida com base na topologia de rede estrela, conforme estudo de Centenaro et al, (2015), utilizando o protocolo LoRaWAN para garantir a robustez e confiabilidade dos dados transmitidos. A Figura 4 apresenta o esquema da implementação do sistema com os dispositivos finais: Lora Emissor, LoRa Receptor, Servidor Esp32, Aplicação e a Nuvem.

Figura 4 - Implementação típica da rede LoraWAN



Fonte: elaborado pelos autores.

O sistema é composto por dispositivos finais, como sensores e atuadores, que se conectam aos módulos LoRa Transmissores. Esses módulos desempenham o papel de gateways primários, responsáveis por coletar os dados dos dispositivos e transmiti-los ao módulo LoRa Receptor. O módulo LoRa Receptor, por sua vez, também funciona como um gateway, recebendo os dados dos transmissores e encaminhando-os para um Servidor ESP32. Este servidor local processa os dados recebidos e os disponibiliza para diferentes camadas de acesso. Na camada de aplicação, os dados podem ser acessados e visualizados em tempo real através de uma aplicação web. Além disso, o servidor ESP32 pode encaminhar os dados para

um servidor na nuvem, permitindo a integração e a visualização remota. Esse fluxo de informações garante um monitoramento eficiente dos dispositivos finais e facilita a análise dos dados ambientais coletados na trilha ecológica.

LoRaWAN é um protocolo de comunicação que opera sobre a tecnologia LoRa. Ele define como dispositivos LoRa se conectam a gateways e servidores para formar uma rede de longa distância e baixa potência e é ideal para aplicações que exigem conectividade de longa distância e baixo custo, pouco consumo de energia, facilidade de rastreamento de ativos e redes de sensores ambientais. Possui a seguinte estrutura: a) dispositivos finais: sensores ou atuadores que coletam dados; b) gateways: recebem os dados dos dispositivos finais e os enviam para um servidor central; c) servidor de rede: garante a segurança, gerencia dispositivos e processa os dados coletados; d) características principais: suporte para comunicação bidirecional e alta segurança com criptografia AES-128 para autenticação e dados; e) escalabilidade: capacidade de conectar milhares de dispositivos a uma única rede. A LoRa Alliance é uma associação global de empresas que promove e apoia a adoção da tecnologia LoRaWAN. Ela foi fundada em 2015 para padronizar, regulamentar e expandir o uso de redes baseadas em oRaWAN.

MÉTODOS

Os testes com o sensoriamento remoto seguiram as etapas: cenário, configuração inicial, experimento em campo, coleta e análise de dados.

Cenário

A primeira etapa do experimento foi a escolha do cenário. O local ideal para o estudo de caso foi a Trilha Ecológica Saimiri,

situada no campus do IFAM/CMDI, que compreende uma área de 236.700,0 m² de floresta preservada. A trilha conta com oito pontos identificados e com QR Codes com informações da vegetação local, e permitiu que fizéssemos o mapeamento através de coordenadas de GPS, conforme Figura 5, onde marcamos no mapa cada ponto.

Figura 5 - Trilha Ecológica Saimiri



Fonte: Print capturado do Google Maps.

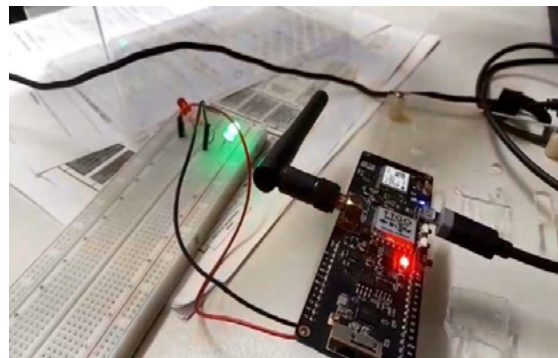
A trilha ecológica Saimiri foi delimitada com a instalação de oito placas de identificação, numeradas de 0 a 8, permitindo a marcação precisa das coordenadas de latitude e longitude com auxílio da ferramenta Google Maps. A vegetação ao longo da trilha é diversa, composta por espécies nativas da região amazônica, refletindo a rica biodiversidade local. No entanto, observa-se que, durante este período do ano, grande parte da vegetação encontra-se seca, aumentando significativamente o risco de queimadas na área. Essa condição demanda atenção especial no monitoramento ambiental e na implementação de estratégias preventivas para mitigar possíveis incêndios florestais.

O trajeto apresenta condições de acesso desafiadoras, devido à natureza acidentada do terreno, caracterizado por declives, elevações e áreas rústicas. Nas proximidades dos pontos 7 e 8, há

uma ponte de madeira que atravessa um pequeno igarapé, atualmente seco em função da sazonalidade climática. Essa situação evidencia o impacto das variações sazonais sobre o regime hídrico local e ressalta a importância de ações de preservação ambiental. O cenário natural da trilha, combinado às condições climáticas, torna o local não apenas propício para estudos sobre a interação entre fauna e flora, mas também para análises de impactos ambientais e de riscos associados à degradação, como queimadas. Tais análises são fundamentais para promover a conservação desse ecossistema, especialmente considerando sua proximidade com áreas urbanas.

Configuração inicial

Os passos para configuração dos dispositivos finais, gateway, servidor local e aplicação foram os seguintes: 1) Instalação do IDE Arduino (v1.8.15): configuração inicial no computador com suporte às placas ESP32 e bibliotecas LoRa. 2) Integração dos sensores: o DHT11 foi conectado aos pinos GPIO para leitura de dados ambientais. Os sensores MQ-135 e MQ-7 foram calibrados para medir gases em condições controladas. 3) Montagem do hardware: foi feita a conexão dos sensores aos módulos LoRa utilizando jumpers e resistores adequados. Configuração de uma rede local Wi-Fi para monitoramento remoto inicial. 4) Desenvolvimento: os códigos de integração do hardware foram desenvolvidos em linguagem padrão C/C++. O protótipo do aplicativo web foi desenvolvido em HTML, CSS, Java Script com uso da IDE Visual Studio Code. 5) Testes iniciais: a comunicação foi validada por meio de um LED conectado à placa transmissora, confirmando o funcionamento dos módulos. Nesta etapa, tivemos o contato inicial com a placa LoRa onde foi feito a instalação do IDE Arduino no computador e depois foi instalado e configuração dos drivers para estabelecer comunicação entre o computador e o LoRa, conforme Figura 6, onde usamos a placa LoRa TTGO, uma placa de ensaio (protoboard), um led verde e um resistor de 220 Ohm.

Figura 6 - Teste de comunicação LoRa

Fonte: Fotografia capturada pelos autores.

Ao acender o LED verde, confirmou que a placa LoRa funcionou perfeitamente, pois estabeleceu comunicação com o computador e indicou que a placa está em condições de receber e transmitir informações. Prosseguimos com os testes iniciais com o módulo LoRa LILYGO ESP32 e com um sensor de temperatura e umidade DHT11, conforme Figura 7. Utilizamos jumpers para interligar o sensor à placa LoRa, alimentado com bateria de 5V.

Figura 7 - LILYGO com sensor DHT11

Fonte: Fotografia capturada pelos autores.

O experimento teve duas fases de teste. A primeira fase foi o teste do sensor de temperatura e umidade, coletando dados no Campus do IFAM/CMDI. A segunda fase foi o teste do sinal da LoRa na trilha Ecológica Saimiri e as variáveis ambientes. com ajuda dos sensores.

Fase 1

Após configurado a nossas placas LoRa como Lora Transmissor e o servidor local, conectamos o sensor para teste. Pesquisando a literatura sobre a placa LoRa, identificamos algumas informações importantes mencionado por Bertoleti (2019) principalmente que os GPIOs 26, 27, 14, 18, 5 e 19 da placa LoRa são pinagem exclusiva dedicados para transmissão de dados. Prosseguindo, a placa LoRa Transmissor foi conectado a rede WIFI do IFAM/CMDI, 'SSDI: CMDI-ALUNOS'; quando transmitiu os dados coletados do sensor DHT11 e os enviou para o nosso servidor local na mesma rede. A primeira coleta de dados foi realizado dentro do IFAM/CMDI, em três locais onde o transmissor enviou os dados de temperatura e umidade registrados dentro do setor de TI. Logo após foi colocando a placa LoRa Transmissor com o sensor DHT11 dentro do Container FIC e por último no final do prédio da Biblioteca, que fica bem próximo ao início da trilha e obtivemos os seguintes dados conforme Tabela 1, que consta as a data do experimento, local, variáveis ambientais de temperatura e umidade.

Tabela 2 - Variáveis de temperatura e umidade

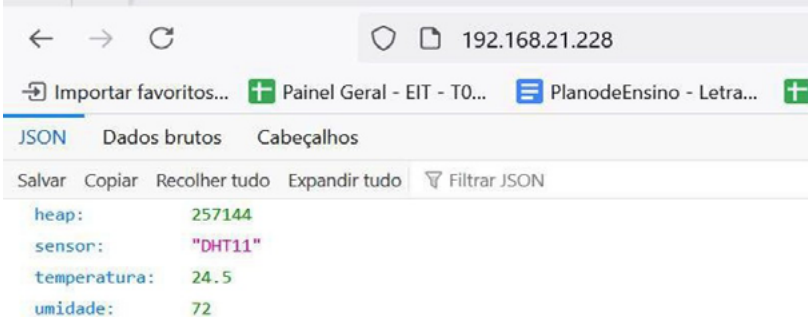
Data	Local	Temperatura(°C)	Umidade(%)
24/09/2024	IFAM/CMDI/CGTI	26,70	59,0
24/09/2024	IFAM/CMDI/Container FIC	24,50	72,0
24/09/2024	IFAM/CMDI/Biblioteca	24.50	85,0

Fonte: dados coletados pelos autores.

Nesse experimento, foi registrado os valores do ambiente referente ao sensor DHT11 conforme dados de temperatura e

umidade. A temperatura registrada em um ambiente fechado com ar refrigerado no setor do TI não ultrapassou os 27° C. Já a umidade do ar aproximou de 60,0 %. Embora esses testes tenham sido preliminares, acontecendo dentro do campus que não é o nosso cenário principal, serviu para confirmar que a placa LoRa estava transmitindo dados de sensor e registramos os dados no servidor local, conforme ilustrado na Figura 10. Quase apto para testar na trilha onde será coletado e analisado o sinal, distância e outras variáveis ambientais desse estudo.

Figure 8 - Teste de coleta de dados de temperatura e umidade



```
← → ↻ 192.168.21.228
+ Importar favoritos... + Painel Geral - EIT - T0... PlanodeEnsino - Letra... +
JSON Dados brutos Cabeçalhos
Salvar Copiar Recolher tudo Expandir tudo Filtrar JSON
heap: 257144
sensor: "DHT11"
temperatura: 24.5
umidade: 72
```

Fonte: print capturado pelos autores.

Os primeiros dados, com informações de nome do “sensor”, “temperatura” e “umidade”, foram enviados da placa LoRa Transmissor via rede Wi-Fi para um servidor local e puderam ser acompanhados em tempo real pelo celular e também acessando uma página web com o seguinte endereço IP Local “192.168.21.228”. Não foi implementado nesse primeiro teste nenhuma base de dados para guardar as informações.

Fase 2

Após configurado a nossas placas LoRa como Lora Transmissor e LoRa Receptor, configuramos também o servidor web

esp32 e conectamos os sensores para teste. Nessa fase do experimento em campo, coletamos dados dos dispositivos finais e enviando para o gateway e retransmitindo para o servidor local, podendo ser acessado por uma aplicação web (protótipo de monitoramento). O experimento feito na trilha teve dois momentos. O primeiro momento foi a escolha do local para fixar a Placa LoRa Receptor que ficou atrás do prédio do Polo de Inovação do IFAM bem na entrada da Trilha que é o ponto 0. Nesse local a placa LoRa Receptora ficou conectada ao notebook com o software IDE Arduíno aberto onde podemos visualizar no monitor serial os dados sendo recebido. Com a outra LoRa que denominamos de LoRa Transmissor, adentramos na trilha, conforme Figura 9, passando por todos os pontos que são identificados de Ponto 0 até Ponto 8.

Figura 9 - Trilha Ecológica Saimiri



Fonte: Fotografia capturada pelos autores.

Como percebemos que não existia segurança para deixar a placa LoRa Transmissor direto dentro da trilha, decidimos que iríamos fazer a coleta dos dados percorrendo toda trilha. Os dados foram

enviados para o LoRa Receptor e automaticamente gravados em um cartão de memória SSD que estava inserido na Placa LoRa Receptor e guardados também no notebook em arquivo do tipo CSV. No segundo momento tivemos que calcular a distância em cada ponto em relação a base de dados receptora para comparar a intensidade vdo sinal da LoRa e o ruído ocasionado em mata fechada, conforme Figura 10 onde as medidas foram feitas com ajuda do software Google Maps e a geolocalização dos pontos.

Figura 10 - Medidas de distância

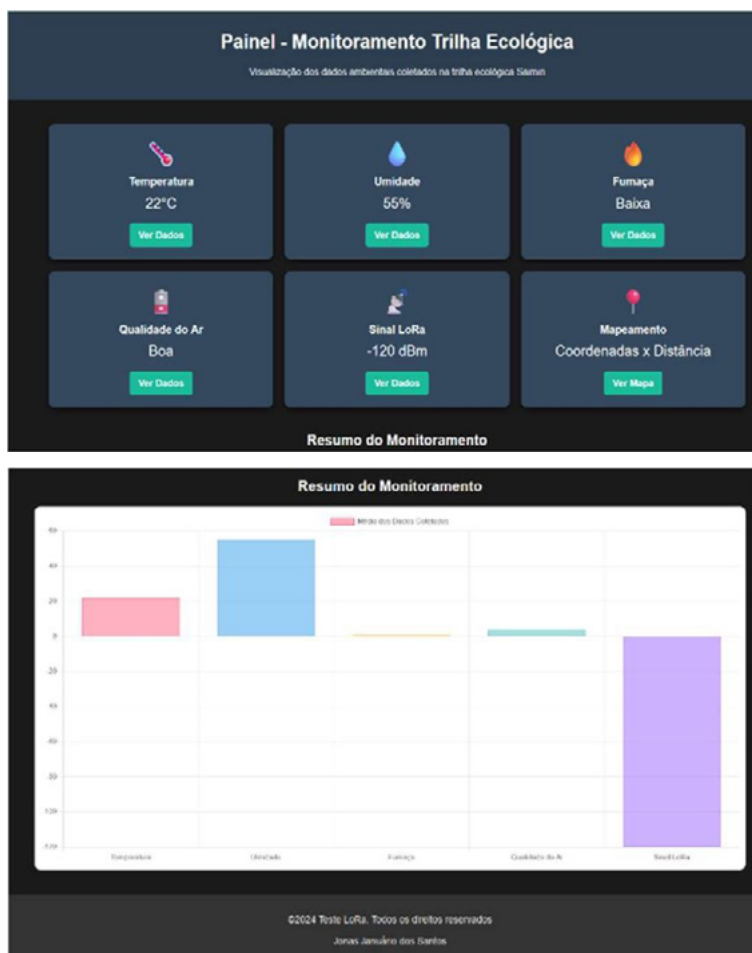


Fonte: Capturado do Google maps pelos autores.

O início da trilha foi identificado como ponto 0, e a partir daí seguimos com o LoRa para os outros pontos e marcamos cada ponto no GPS e calculamos depois a distância da base de dados onde estava o LoRa receptor para cada ponto na trilha. Com isso foi possível fazer a análise do sinal pela distância que está apresentada na seção de resultados e discussão. Após a coleta de dados, pegamos o cartão de memória do LoRa Receptor e fizemos o backup dos dados para outro computador. Depois das análises dos dados, vimos

a necessidade de montamos um dashboard com os indicadores. Foi construído uma aplicação web conforme Figura 11, onde temos registrados a base dos dados com informações sobre medidas de temperaturas, umidade, qualidade do ar, fumaça, sinal da LoRa e o mapeamento da trilha e um resumo do monitoramento.

Figura 11 - Telas da aplicação web de monitoramento da trilha Saimiri



Fonte: Print capturado pelos autores.

Os dados foram transmitidos via rede LoRaWAN e na seção de resultados e discussão tem mais informações dos dispositivos finais, o sinal da transmissão, a distância e um resumo do painel de monitoramento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESULTADOS DA TEMPERATURA E UMIDADE DO AMBIENTE

Este capítulo apresenta os resultados obtidos de temperatura e umidade coletados pelo sensor DHT11, transmitidos pelo módulo LoRa emissor e recebidos pelo módulo LoRa receptor durante o percurso na trilha ecológica Saimiri. A Tabela 3 mostra os dados de temperatura, umidade, RSSI do LoRa, SNR do LoRa e a distância percorrida nos pontos analisados.

Tabela 3 - Dados de temperatura, umidade e distância

Local	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Distância (m)
Receptor	33,84	66,57	Origem
Ponto 0	32,58	72,49	0,00
Ponto 1	33,46	70,25	58,99
Ponto b	33,58	68,10	96,19
Ponto 2	33,49	68,48	166,81
Ponto 3	33,63	68,33	184,33
Ponto 4	33,00	70,45	151,49
Ponto 5	33,09	71,11	167,62
Ponto 6	33,39	70,62	221,74
Ponto 7	33,13	69,41	218,40
Ponto 8	33,13	68,89	251,73

Fonte: dados coletados pelos autores.

Foi possível receber os dados de temperatura e umidade mesmo em ambiente de mata fechada, demonstrando a eficácia do LoRa para transmissões em locais densamente arborizados. Contudo, verificou-se que, à medida que a distância aumenta, a qualidade do sinal (RSSI e SNR) diminui, o que afeta a estabilidade da transmissão. O Ponto 8, por exemplo, apresentou maior interferência devido à combinação de maior distância e obstáculos adicionais, como os prédios do Polo de Inovação do IFAM e das salas de aula do IFAM/CMDI, já que o receptor ficou localizado atrás do prédio do Polo de Inovação.

RESULTADOS DA QUALIDADE DO AR E FUMAÇA

Os dados de qualidade do ar foram coletados utilizando os sensores MQ-7 e MQ-135, que detectaram concentrações de gases e partículas no ambiente. A Tabela 4 apresenta os valores médios registrados em diferentes pontos da trilha.

Tabela 4 - Dados da qualidade do ar e fumaça

Local	Qualidade do Ar (ppm) (MQ135)	Fumaça (ppb) (MQ-7)
LoRa Receptor	12,5	194,0
Ponto 0	11,9	176,7
Ponto 1	11,8	187,5
Ponto b	11,9	189,7
Ponto 2	11,7	187,5
Ponto 3	10,9	176,7
Ponto 4	10,4	159,3
Ponto 5	10,1	142,0
Ponto 6	10,9	157,2
Ponto 7	10,4	155,0
Ponto 8	10,3	155,0

Fonte: dados coletados pelos autores.

Analisando-se os resultados obtidos na Tabela 2 percebemos os valores de qualidade do ar (em ppm) e concentração de fumaça (em ppb, utilizando o sensor MQ-7) em diferentes pontos de coleta e observou-se o seguinte:

Qualidade do Ar (ppm)

No ponto onde estava o Lora Receptor, que fica fora da trilha e próximo da Avenida onde tem muitos de carros trafegando, apresentou um valor mais elevado de qualidade do ar, com 12,5 ppm. A partir do Ponto 0, há uma tendência de redução gradativa nos valores de qualidade do ar, atingindo o valor mais baixo no Ponto 5 (10,1 ppm). Nos pontos subsequentes, os valores mantêm uma variação limitada entre 10,1 a 10,9 ppm, indicando relativa estabilidade nas medições em áreas mais distantes e de densa mata.

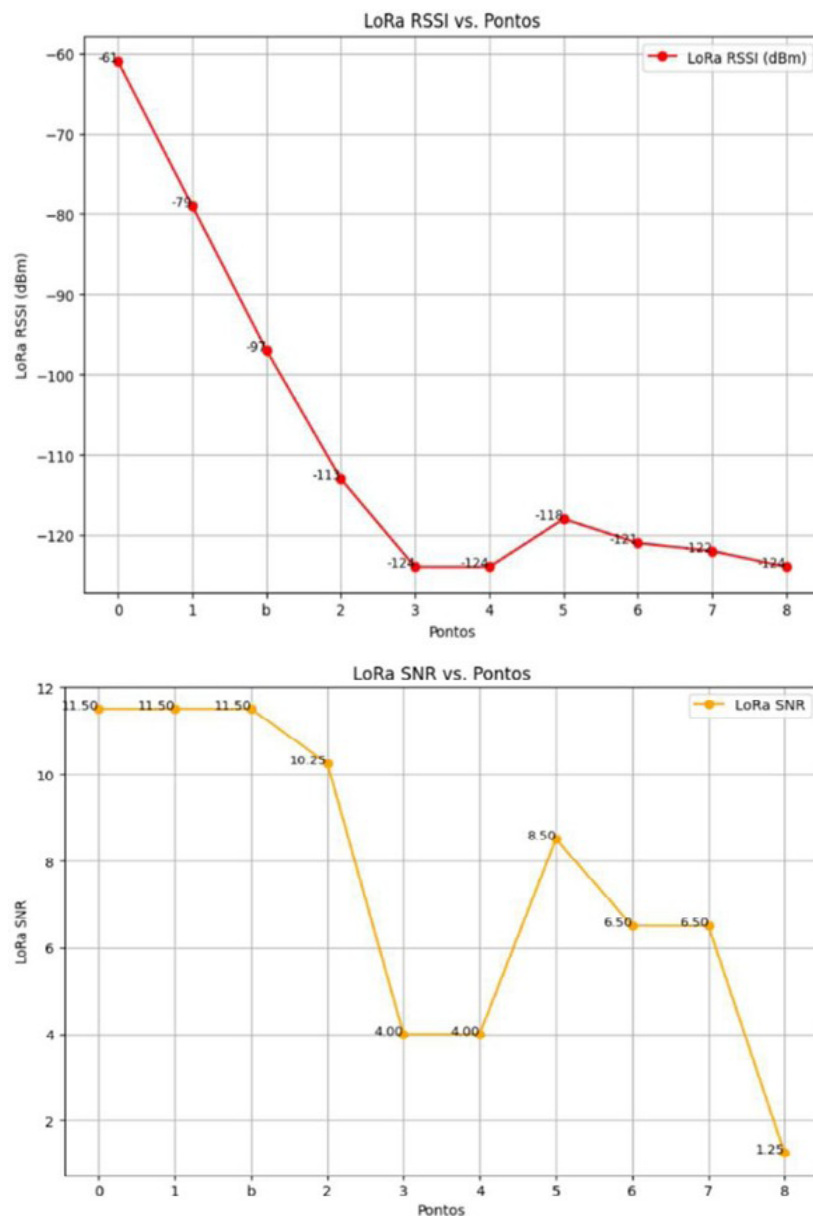
Concentração de Fumaça (ppb)

A concentração de fumaça segue uma tendência oposta à qualidade do ar, aumentando conforme os pontos se afastam do LoRa receptor. O receptor apresentou o valor inicial de 194 ppb, enquanto o Ponto 5 registrou a menor concentração, com 142 ppb. Nos pontos seguintes, a concentração de fumaça apresenta leves oscilações, variando entre 155 e 157 ppb, reforçando que há menor acúmulo de fumaça em áreas distantes do receptor. Para trilhas ambientais, um valor baixo ideal seria algo entre 100 e 200 ppb, o que indica ar limpo e condições próximas ao natural.

RESULTADOS DO SINAL DA LORA

O desempenho do sinal LoRa foi analisado com base nos valores de RSSI (dBm) e SNR registrados em diferentes pontos da trilha. O Gráfico 1 mostra a variação do sinal em função da distância percorrida desde o ponto 0 até o ponto 8.

Gráfico 1 - Intensidade do sinal LoRa RSSI e SNR em função da distância



Fonte: dados coletados pelos autores.

Os dados revelam que o sinal LoRa apresenta uma relação inversa com a distância. Por exemplo, no Ponto 0, com o parâmetro de distância inicial da trilha, o RSSI era de -61 dBm, enquanto no Ponto 8, último parâmetro de distância da trilha caiu para -124 dBm. Essa queda indica maior dificuldade na transmissão à medida que a distância aumenta e obstáculos interferem na propagação. O SNR, representando a relação sinal-ruído, também apresentou variação significativa, refletindo a degradação do sinal.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos corroboram com estudos que indicam a eficiência do LoRa em transmissões de longo alcance em ambientes adversos. Em comparação com trabalhos como o de Almeida *et al.* (2020), Kuntke *et al.* (2023), Cunha *et al.* (2020), o presente estudo destaca a capacidade do LoRa de operar em condições de mata fechada com baixa interferência inicial. No entanto, a deterioração do sinal foi percebido com o aumento da distância e a presença de barreiras físicas que confirmam limitações na cobertura em terrenos irregulares e vegetações densas. Já a questão da energia, a bateria de lithium de 3,7V só conseguiu energizar a placa LoRa Emissor, porém quando foi adicionado os sensores, ela não ajudou muito e foi preciso usar uma bateria de 4,2V de 8800mAh e o Lora Receptor ficou conectado na porta USB do notebook.

Cada experimento teve duração de aproximadamente 40 minutos dentro da trilha ecológica Saimiri. Adicionalmente, a análise de qualidade do ar sugere que os sensores de qualidade do ar e fumaça podem ser utilizados para identificar áreas críticas em termos de poluição atmosférica e risco de incêndios, especialmente quando a temperatura ultrapassa 40°C e a umidade chega a ser menor que 30%, conforme observado e outros estudos sobre monitoramento ambiental como o Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE) e organizações como o National Fire Danger Rating System (NFDRS). Com esse estudo ainda não conseguimos afirmar que a maior parte do ano a trilha ecológica Saimiri fica seca e com vegetação inflamável pois seria necessários um acompanhamento ao longo do ano. No entanto, que fique de alerta pois nesse período de teste encontrou-se sim uma vegetação propícia a possível sinistro e que dados sejam viabilizado para estudo de análise preditiva.

CONCLUSÃO

Ao final do experimento realizado com a tecnologia LoRa na Trilha Ecológica Saimiri, foi possível evidenciar a importância da transmissão de dados em redes de sensores sem fio. Os resultados destacaram a potência e a eficiência da tecnologia LoRa, que se mostrou uma solução viável e eficaz para o monitoramento ambiental, mesmo em ambientes de difícil acesso. Os resultados obtidos destacaram a viabilidade da comunicação por sensores sem fio para a coleta de dados ambientais críticos, como temperatura, umidade e qualidade do ar, mesmo em um ambiente densamente arborizado. Apesar das limitações relacionadas ao alcance do sinal e às interferências naturais, a tecnologia LoRa mostrou-se uma ferramenta de baixo custo e alta eficiência, ideal para aplicações em regiões como a Amazônia.

Além disso, os dados coletados revelaram informações importantes para o monitoramento ambiental preventivo, permitindo a identificação de condições propícias a incêndios florestais e a análise de impactos ambientais locais. O protótipo desenvolvido neste trabalho valida o uso da LoRa como uma alternativa prática e acessível para a implementação de redes de sensores sem fio em ecossistemas sensíveis, podendo ser replicado em outras áreas e contextos. Este estudo reforça a importância de integrar tecnologias

inovadoras à conservação ambiental, destacando a necessidade de mais pesquisas que explorem o potencial da IoT e da LoRa para mitigar os impactos das mudanças climáticas e melhorar a gestão de ecossistemas naturais.

Portanto, a IoT tornou-se necessária nesse cenário atual onde as queimadas têm ocasionado grandes desastres ambientais e consequentemente as mudanças climáticas que afetam a vida dos seres humanos. Sugestão é que seja implementada uma estação meteorológica na trilha que permita o estudo mais avançado do monitoramento em que os alunos e pesquisadores possam tirar mais conclusões sobre a tecnologia e prevenção ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto ARANOÚÁ executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda, usando recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, estando sua divulgação e publicidade em conformidade com o previsto no artigo 39º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, N. C.; ABUD, R. B.; GODOY, E. P. Infraestrutura LoRaWAN para Aplicações Didáticas de Internet das Coisas. **Anais do Congresso de Iniciação Científica do IFSP**, São Paulo, 2020.

BERTOLETI, P. **Projetos com ESP32 e LoRa**. São Paulo: Instituto NCB, 2019.

CARDOSO, Alexandre Jorge Gaia *et al.* The influence of the organizational and environmental factors on the Amazon family farming enterprises in Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1-15, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13105>.

CENTENARO, M. *et al.* Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. **IEEE Wireless Communications**, v. 23, n. 5, p. 60-67, 2016. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743>.

CORREA, A. C. G. *et al.* Capital natural, danos ambientais e desenvolvimento sustentável. *In*: CHAGAS, G. C.; NASCIMENTO-E-SILVA, D.; MACHADO, A. L. S. (Orgs.). **Gestão ambiental: aspectos teóricos e empíricos**. Rio de Janeiro: Autografia, 2024.

CUNHA, L. J.; VALIM, P. R. O. Rede de sensores sem fio para monitoramento de variáveis de ambiente. **Anais do Computer on the Beach**, v. 11, p. 007-009, 2020. <https://doi.org/10.14210/cotb.v11n1.p007-009>.

DWIVEDI, A. K.; YADAV, A.; GAMAD, R. S. Breast cancer disease prediction using convolutional neural networks with ultrasound image dataset for healthcare-IOT application. *In*: **2025 4th OPJU International Technology Conference (OTCON) on Smart Computing for Innovation and Advancement in Industry 5.0**. IEEE, 2025. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/OTCON65728.2025.11070903>.

ETENG, A. A. Sensors, actuators, wireless sensor networks, and the Internet of Things. *In*: HASSAN, Q. F. (Ed.). **Internet of Things A to Z: Technologies and applications**, p. 89-117, 2025. <https://doi.org/10.1002/9781394280490.ch4>.

HENDRY, H.; MANONGGA, D. Implementation of multi-node sensor data delivery using the master-slave method in lora communication. **Journal of Technology Informatics and Engineering**, v. 3, n. 2, p. 117-137, 2024.

JOGEKAR, A.; SINH, P. A comprehensive review on the use of Internet-of-Things-based systems in underground mining for monitoring environmental conditions. **World J. Adv. Eng. Technol. Sci**, v. 1, p. 1-19, 2025. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.14.1.0651>.

KASHYAP, M.; VERMA, G.; SHARMA, V. Empowering IoT connectivity with LoRa technology: a deep dive into long-range communication. **Engineering Research Express**, v. 7, n. 1, p. 015429, 2025. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/adbfd>.

KUNTKE, F. *et al.* How Would emergency communication based on LoRaWAN perform? Empirical findings of signal propagation in rural areas. **Proceedings of the 20th ISCRAM Conference**, Omaha, Nebraska, USA May 2023.

LIU, L.; MENG, H.; TU, D. Energy-efficient routing protocols for directional wireless sensor networks. *In*: **2025 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)**. IEEE, 2025a. p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/BMSB65076.2025.11165717>.

LIU, Y.; CAI, J.; QIU, M. Research on low-power and low-cost smart animal husbandry positioning system based on LoRa transmission. *In: 2025 5th International Symposium on Computer Technology and Information Science (ISCTIS)*. IEEE, 2025b. p. 571-575. <https://doi.org/10.1109/ISCTIS65944.2025.11065437>.

MISHRA, A. Internet of Things-based sensors for environmental monitoring. *In: McLAUGHLIN, J.; MATHUR, A.; TAUSEEF, S. M. (Eds.). Emerging Sensors for Environmental Monitoring*. Amsterdam: Elsevier, 2025. p. 167-186. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13894-2.00006-3>.

PIRES, L. M. *et al.* Towards Smart Wildfire Prevention: Development of a LoRa-Based IoT Node for Environmental Hazard Detection. **Designs**, v. 9, n. 4, p. 91, 2025. <https://doi.org/10.3390/designs9040091>.

PRAMANIK, J. *et al.* A comprehensive systematic review of progressive applications of LoRa and LoRaWAN networks in the internet of things. **International Journal of Internet Manufacturing and Services**, v. 11, n. 1, p. 1-22, 2025. <https://doi.org/10.1504/IJIMS.2025.144349>.

RAJAGOPALAN, S.; PATEL, V. M. Low-rank adaptation-based all-weather removal for autonomous navigation. *In: 2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2025. p. 6040-6047. <https://doi.org/10.1109/ICRA55743.2025.11127411>.

RAMANI, D. R.; SUJITHA, B. B.; TANGADE, S. Smart environmental monitoring systems: iot and sensor-based advancements. *In: SURESH, A. et al. (Eds.). Environmental monitoring using artificial intelligence*. Beverly: Wiley, 2025, p. 45-60. <https://doi.org/10.1002/9781394270392.ch3>.

ROSIANA, E. *et al.* Design a body mass index monitoring with telegram notifications based on IoT. *In: AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC, 2025. p. 020003. <https://doi.org/10.1063/5.0243126>.

SAMPAIO, C. A. *et al.* Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da terra, rumo à sustentabilidade florestal no nordeste paraense. **Revista de gestão social e ambiental**, v. 2, n. 1, p. 41-53, 2008.

SANTOS, L. A.; GONÇALVES, A. E. M. IoT: estudo e aplicação dos conceitos de internet das coisas em um projeto prático de irrigação. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 39, especial, p. 115-128, 2023.

SARKAR, S. Sustainable agriculture monitoring: energy and carbon footprint analysis of lora-based wireless sensor networks. *In: SoutheastCon 2025*. IEEE, 2025. p. 818-823. <https://doi.org/10.1109/SoutheastCon56624.2025.10971526>.

WANG, X.; ZHAO, W.; NIU, X. Low voltage user power internet of things monitoring system based on LoRa wireless technology. **Energy Informatics**, v. 8, n. 1, p. 12, 2025. <https://doi.org/10.1186/s42162-025-00472-1>.

YANG, H. *et al.* A Topology-Aware GNN Learning Approach for Energy Optimization in Multi-Hop LoRa Networks. **IEEE Internet of Things Journal**, 2025. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3606698>.

ZHANG, T.; YANG, D.-B. Multimodal machine learning with large language embedding model for polymer property prediction. **Chemistry of Materials**, v. 37, n. 18, p. 7002-7013, 2025. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.5c00940>.

SUMÁRIO

7

*Marcelo Machado
Alyson de Jesus dos Santos
Hugo Alves Velozo
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

SIMULAÇÃO DO MONITORAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS NO CONTEXTO DA INTERNET DAS COISAS E LOGÍSTICA INTELIGENTE

SUMÁRIO

RESUMO:

Os dispositivos de Internet das Coisas encontram-se presentes na otimização de processos logísticos, utilizando recursos de transmissão, tratamento e análise de dados. Este estudo tem como objetivo demonstrar como dados coletados pela placa ESP32, em um protótipo para mapeamento e gestão de movimentação de veículos, juntamente com dados sintéticos permitem o uso em ambiente simulado de monitoramento e gerenciamento de operações logísticas. A aplicação desta tecnologia na Logística Inteligente permite a coleta de dados, análise de desempenho e atualização de mapas e painéis de controle.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Logística Inteligente, ESP32, Ambiente Simulado, Mapas, Painéis de Controle.

INTRODUÇÃO

Com o rápido e contínuo avanço da tecnologia e da necessidade emergente de coleta, processamento e tomada de decisões nas empresas, os dispositivos de Internet das Coisas (Internet of Things, IoT) passaram a ter papel fundamental ao fluxo de informações na logística (Pang *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2025; Wang & Du, 2025), em virtude do monitoramento de cargas (Pires *et al.*, 2025; Geethapriya *et al.*, 2025; Prabakar *et al.*, 2025), gestão de estoque (Mendoza *et al.*, 2025; Maheshwari *et al.*, 2025; Maheshwari *et al.*, 2025) e otimização de rotas (Ateeq *et al.*, 2025; Kareem *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025). No monitoramento de cargas, a IoT permite acompanhar a localização das cargas em tempo real, identificando atrasos, desvios ou furtos. Na gestão de estoque, a IoT controla de forma mais precisa o inventário, agilizando o processamento e a separação de pedidos. Na otimização de rotas, controla as rotas dos veículos, otimizando o prazo de entrega e reduzindo custos. O processo de rastreamento bens e produtos é realizado pelo Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System, GPS) e por geolocalização por satélites na otimização de rotas, monitoramento em tempo real de frotas e cargas (Zulkarnain *et al.*, 2025; Satria *et al.*, 2025; Nagesh *et al.*, 2025).

O ambiente logístico é complexo e enfrenta uma série de desafios que afetam a eficiência, a lucratividade e a capacidade de atender às demandas dos clientes (Vahabzadeh *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2025). Esses desafios decorrem de fatores como a crescente demanda por entregas rápidas (Matos, 2025; El amrani *et al.*, 2025), globalização (Mumin; Yakubu, 2025; Ohakwe; Wu, 2025), avanços tecnológicos (Olawade *et al.*, 2025; Raphael *et al.*, 2025), mudanças nos hábitos de consumo (Doyle, 2025; Chaudhuri *et al.*, 2025) e questões ambientais (Gaur *et al.*, 2025; Gugssa, 2025). Do ponto de vista tecnológico, uma das formas de enfrentar esses desafios é melhorar a comunicação, com rastreamento em tempo

real, implementando sensores IoT e sistemas de rastreamento GPS para monitorar frotas e contêineres em armazéns inteligentes.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo demonstrar a adaptação e conectividade entre a placa de desenvolvimento IoT - ESP32 e o ambiente logístico, por meio da construção de um protótipo intitulado PRISMA (Protótipo de Rastreamento Inteligente para Sistemas de Monitoramento Automatizado), que coleta dados para mapeamento da área, realiza simulação de movimentação dos veículos e faz o tratamento das informações para disponibilização gráfica e relatórios. Experimentos práticos foram realizados na região Centro-Sul de Manaus, Brasil, com a finalidade de verificar o desempenho da plataforma IoT escolhida, que coletava dados (criação de um *dataset*) para a validação do modelo para a gestão da movimentação de veículos e tempo de espera dentro de um centro logístico. Os dados coletados no protótipo IoT permitiram mapear as posições chaves e trajetos no ambiente de estudo, demonstraram a localização dos veículos desde a sua chegada (posicionamento, deslocamento, momento da carga/descarga) até a sua saída do complexo logístico. Também foi feita a simulação computacional no centro logístico para avaliar a performance da movimentação de veículos de cargas para agregar valores aos processos e à cadeia de suprimentos, contribuindo para a Smart Logistic.

MOVIMENTAÇÃO LOGÍSTICA DE CARGAS: REVISÃO DA LITERATURA

Este referencial teórico foi desenvolvido seguindo o método científico-tecnológico de pesquisa (Nascimento-e-Silva, 2020; 2021a; 2021b; 2021c; 2023), sobre o monitoramento na movimentação de carga na logística. Foram formuladas duas questões norteadoras: quais são as abordagens de movimentação de cargas já mapeadas pela ciência e quais são seus principais atributos (Nascimento-e-Silva, 2023).

MONITORAMENTO NA MOVIMENTAÇÃO DE CARGA NA LOGÍSTICA: ABORDAGENS

O monitoramento na movimentação de carga na logística pode ser considerado um projeto de redes logísticas (Fontaine *et al.*, 2023; Tang, 2020). O projeto de redes logísticas, ou redes de distribuição, é o conjunto de atividades que viabiliza a entrega de mercadorias aos clientes, tendo como principal objetivo a entrega dentro do prazo estabelecido. As redes logísticas abrangem desde a aquisição de matérias-primas até a entrega final do produto acabado. Além disso, um projeto de redes logísticas busca agregar agilidade às operações, independentemente do tamanho ou área de atuação da empresa. No contexto da IoT, soluções como aplicativos de rastreamento de carga e sistemas de roteirização proporcionaram uma oportunidade de otimização da rede logística, destacando características das redes que podem torná-la mais eficiente e competitiva.

O monitoramento na movimentação de cargas na logística pode ser definido como telemática de Transporte (Shee *et al.*, 2021). Na *Smart Logistic*, o rastreamento é a aplicação de tecnologias, consagradas e inovadoras, para localizar, rastrear e garantir a segurança das mercadorias durante todo o processo logístico. Essas tecnologias podem incluir o uso de dispositivos de transmissão de dados a distância e o uso de plataformas com geolocalização, sensores e atuadores. O rastreamento por GPS fornece dados precisos de localização em tempo real enquanto os demais componentes da estrutura de transmissão se conectam e criam uma base de dados para oferecer uma visibilidade e controle do processo na utilização dentro da Logística Inteligente.

Coleta de informações foi outra abordagem de monitoramento na movimentação de cargas na logística encontrada na literatura (Li *et al.*, 2021) com a aplicação dos recursos de IoT. Coletar informações surge como uma alternativa para otimizar a gestão de

SUMÁRIO

transporte e rastreamento de veículos e mercadorias em tempo real. Por meio de sensores, dispositivos e sistemas interconectados, as empresas podem coletar dados sobre a localização, o estado dos veículos e até mesmo o comportamento dos motoristas. Os dados coletados podem ser armazenados, compartilhados e acessados através de plataformas físicas das empresas ou em dados nas nuvens. Isso permite maior velocidade, eficiência, redução de custos e *insights* valiosos para a rede de logística.

Outra abordagem da movimentação de cargas encontrada foi a entrega oportuna de informações ao usuário (Li *et al.*, 2021). A entrega oportuna de informações usuários encontra cada vez mais espaço com o avanço da tecnologia e os desenvolvimentos de aplicações para a conexão de dispositivos e interação com o usuário. A IoT refere-se à capacidade de conectar, veículos, como no caso da logística, à internet permitindo a comunicação, interação e visualização pelo usuário.

Fundamental para otimizar todo o processo logístico, o monitoramento da movimentação de cargas na logística também é tratado como sistema logístico inteligente (Bhargava *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2021; Tang, 2020; Cimini *et al.*, 2020; Woschank *et al.*, 2020). O conceito de logística inteligente engloba um controle e monitoramento do fluxo de ponta a ponta da operação, desde a chegada de insumos até a entrega final do produto. Neste processo o monitoramento de cargas pode ser destacado como fator crucial não apenas para a logística, mas também para o processo de produção, armazenamento e entrega final; impactando em indicadores que vão além da área de logística, como os que envolvem a linha produção e seus processos.

O monitoramento na movimentação de cargas na logística é percebida como estratégia de transporte (Fontaine *et al.*, 2023), que é um fator motivador para explorar esse ponto, de modo a alcançar os melhores resultados possíveis. A estratégia da movimentação

de carga é um paradigma para a logística, podendo envolver uma revisitação de conceitos clássicos da logística, bem como a implementação de novas metodologias e técnicas para um melhor acompanhamento do monitoramento de cargas na logística inteligente.

A movimentação de cargas e seu monitoramento, na visão da logística também pode ser definida como uma infraestrutura de IoT (Fontaine *et al.*, 2023). A utilização da estrutura de dispositivos inteligentes na logística de movimentação de cargas pode ser um diferencial tecnológico e estratégico. Esses dispositivos, como sensores de IoT, RFID (Identificação por Radiofrequência), rastreamento por GPS e sistemas de controle; permitem monitorar em tempo real a localização de veículos, outras condições do ambiente e das mercadorias.

A atividade logística é outra concepção do monitoramento na movimentação de cargas na logística (Büyüközkan; Ilicak, 2022). A atividade logística, no contexto da movimentação de cargas e IoT, envolve a integração de sensores, dispositivos e sistemas inteligentes para monitorar e rastrear cargas, veículos e ativos em tempo real. Esta atividade consiste em uma integração para a coleta e análise de dados valiosos, otimizando processos logísticos e melhorando a eficiência operacional. Com a integração usando a IoT a automação e tomada de decisões em uma rede logística torna-se mais ágil e responsiva as demandas.

ATRIBUTOS DO MONITORAMENTO NA MOVIMENTAÇÃO DE CARGA NA LOGÍSTICA

Foram encontrados dezenas de atributos do monitoramento na movimentação de carga na logística, razão pela qual foram organizados em grupos semânticos. O grupo semântico Ambiente Simulado foi criado de modo a explicar o processo que envolve o monitoramento de cargas na logística. Ambiente Simulado foi

indicado na aproximação contínua (Fontaine *et al.*, 2023), inteligência artificial (Woschank *et al.*, 2020) e inteligência e sistematização (Tang, 2020). Esses atributos formam o ambiente simulado. O ambiente simulado permite a utilização de diversas ferramentas para a coleta, tratamento dos dados e a simulação de possibilidades a partir de condições reais ou sintéticas, em modelos de previsão por meio aprendizagem de máquina em rodadas de treino e teste.

O cenário foi separado como grupo semântico para definir a área de abrangência do experimento dentro de um sistema empresarial, que neste experimento colocou como limites os processos de movimentação de carga dentro da logística de chegada e saída de insumos e produtos. Sendo o cenário visto como o monitoramento logístico (Li *et al.*, 2021), os desafios (Issaoui *et al.*, 2021) e o ambiente (Büyükközkcan; Ilicak, 2022), que em uma visão da logística inteligente ultrapassa os limites físicos, geográficos e podem permitir reflexões para tomadas de decisões estratégicas no que se refere ao mercado local, global e ao desenvolvimento de novas tecnologias para área de logística dentro do ambiente urbano e dentro dos centros industriais e logísticos.

O grupo semântico Sistema Informatizado foi identificado para definição de uma tecnologia para tratamento dos dados e tomadas de decisões. Análise foi vista nos dispositivos inteligentes e informatização (Tang, 2020) e nos dados de *status* (Li *et al.*, 2021). A captura dos dados, por meio de dispositivos inteligentes, constrói a base para a tratativa de soluções de monitoramento de frotas e mercadorias em ambientes que necessitam de uma gestão para controle de fila, priorização ou de métricas de qualidade dos serviços de logística que compõe um ecossistema maior da Indústria 4.0, dos Operadores Logísticos e da Logística Inteligente.

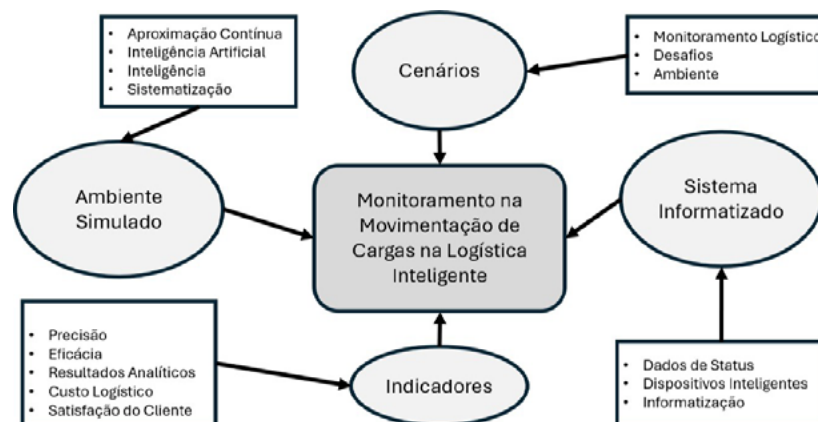
Os indicadores como um grupo semântico, foi criado para mostrar as possibilidades de métricas para avaliação contínua do

sistema de logística com o monitoramento e sua gestão. Os indicadores foram vistos na eficiência (Li *et al.*, 2021 e Pan *et al.*, 2021), na precisão (Li *et al.*, 2021), em sua eficácia (Pan *et al.*, 2021), nos resultados analíticos (Fontaine *et al.*, 2023), no custo logístico, satisfação do cliente e lucro da organização (Bhargava *et al.*, 2022) em um tripé formado por custo, satisfação e lucro. A gestão por meio de indicadores pode demonstrar a performance e evolução do sistema de monitoramento, seja com o uso de uma base histórica ou de metas estabelecidas e periodicamente revisadas. Para um controle efetivo a medição com o uso de indicadores pode assumir um papel fundamental no monitoramento da movimentação de cargas.

MONITORAMENTO NA MOVIMENTAÇÃO DE CARGA NA LOGÍSTICA: ARQUITETURA TEÓRICA

Com os atributos e termos de equivalência do monitoramento na movimentação de carga logística verificados na revisão da literatura, foi criado o modelo de arquitetura teórica apresentado na figura 1.

Figura 1 - Arquitetura teórica do estudo



Fonte: elaborado pelos autores.

O ambiente simulado do experimento foi caracterizado pela sistematização e aproximação contínua para a predição e simulação de dados e disponibilização de indicadores. Para o uso de dados em um ambiente simulado, (Bala *et al.*, 2024) os processos, métodos e ferramentas de pré-processamento de dados são fundamentais para o resultado. Neste trabalho foi utilizada a ferramenta WEKA Explorer, software desenvolvido pela Universidade de Wikato, que trabalha com vários algoritmos que permitem a classificação de arquivos proporcionando entre outros os resultados de análise, classificação e predição; de forma a contribuir com os indicadores da logística.

MATERIAIS E MÉTODOS

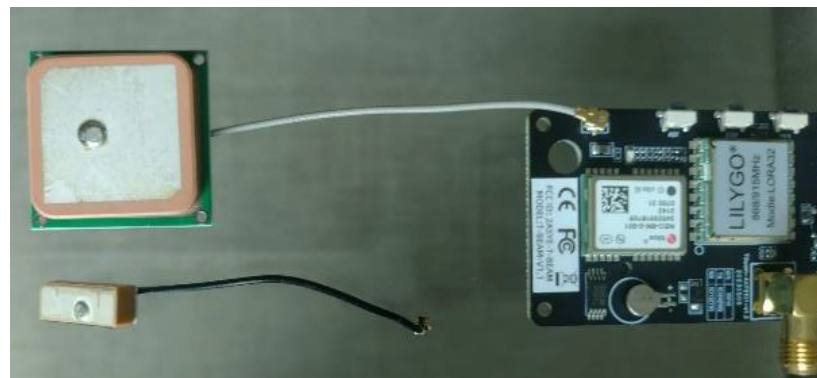
MATERIAIS

- *Placa ESP32*: Módulo de Comunicação LoRa, modelo T-BEAM v1.1, com frequência de trabalho de 915 MHz, do fabricante LILYGO, com módulo GPS embarcado. Foi utilizada para a montagem do sistema de transmissão de dados.
- *Cabo de comunicação*: Cabo de comunicação tipo USB para micro USB. Cabo utilizado para conectar o Notebook à placa ESP32 para a configuração, alimentação e recebimento dos dados. O módulo transmissor foi conectado ao Notebook durante todo o experimento para acompanhamento das informações.
- *Antena de comunicação*: Antena com conector SMA, impedância 50 ohms, ganho 3 dBi, comprimento total 10,8 cm.

Utilizada para a transferência de dados entre os módulos. Utilizou-se a antena conectada à placa ESP32.

- *Computador:* Notebook com Processador Intel Core i3-7020U CPU @ 2.30Ghz, 12 Giga Bytes de memória, Sistema Operacional Windows 10, MS-Office 365, PuTTY 0.81, IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento) Arduino IDE 2.3.2 e PyCharm 2023.2.7 IDE. Utilizado para criar o código de programação para a ESP32, coleta, tratamento de dados e configuração das aplicações. Foi desenvolvido um código de programação específico para a configuração da placa ESP32. Utilizado para a montagem do protótipo e códigos adicionais para verificação de tabelas e disponibilização dos dados.

Figura 2 - Antenas para módulo GPS



Fonte: arquivo dos autores.

- *Antena de GPS:* Antena GNSS de cerâmica com dimensões de 5 x 5 cm. Utilizada para a geolocalização do módulo transmissor. Foi substituída a antena original do módulo, figura 2, de dimensional menor, para melhorar o tempo de resposta na inicialização do sistema quanto ao recebimento dos dados de GPS.

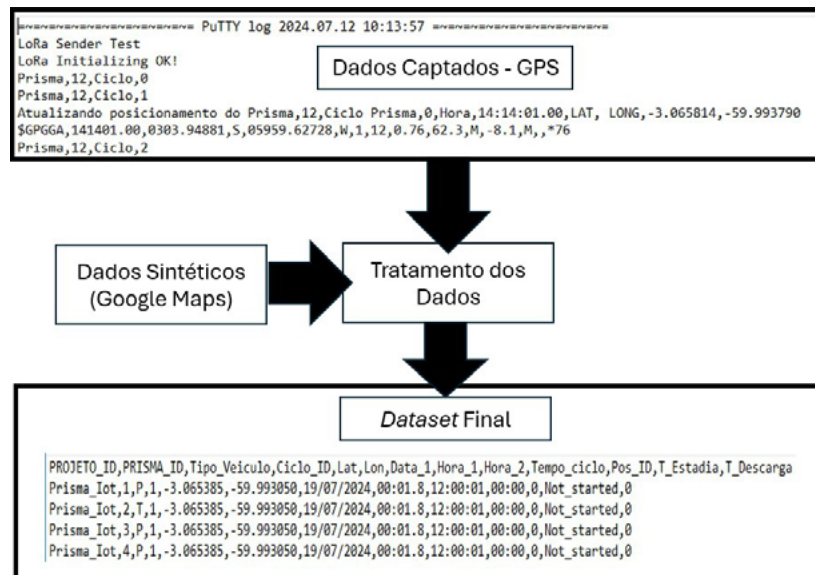
MÉTODOS

Etapas da aplicação da metodologia: para a aplicação da metodologia utilizou-se as quatro etapas, com a montagem do protótipo, testes de campo, criação de um *dataset* e o desenvolvimento de *dashboards*.

- *Montagem do protótipo:* Para a realização do experimento de coleta de dados foi montado uma placa ESP32 em uma caixa plástica para facilitar o processo de deslocamento, evitar contato direto com a placa eletrônica, para preservar a integridade dos componentes e garantir o funcionamento durante o projeto, nas atividades de testes de campo. O protótipo, coletor de informações de geoposicionamento, foi denominado PRISMA, também em alusão ao prisma numérico utilizado para identificação veicular em estacionamentos. Durante a coleta de dados, o protótipo foi conectado ao *notebook*, via cabo USB para a alimentação de seu circuito e para a gravação do código. A frequência de operação e velocidade serial foram também parâmetros com necessidade de configuração no Arduino IDE e no PuTTY.
- *Testes de campo:* A coleta de dados foi realizada em uma área na região centro-sul da cidade de Manaus/AM. A área utilizada foi de um total de 42.349,24 m². Dentro desta área total foi definido o posicionamento de três subáreas para este trabalho. Buscando modelar uma área similar ao de um centro de movimentação de cargas, as seguintes subáreas foram definidas como *check-in* na portaria; área de estacionamento e área de doca. Com a utilização de um código em Python foi delimitada a área do cenário e as subáreas de monitoramento para a criação inicial do arquivo com o mapa em imagem, a ser utilizado durante o monitoramento do PRISMA.

- **Criação do dataset:** Os dados de localização foram capturados pelo protótipo do dispositivo PRISMA durante incursões na área do cenário. Foi utilizado um veículo para a movimentação do PRISMA durante a coleta de dados. As coordenadas geradas pelo dispositivo foram transmitidas para um computador de modo que as informações pudessem ser armazenadas em formato de arquivo tipo CSV. Para as coordenadas dentro das subáreas foi adicionado um conjunto de dados sintéticos para consolidar, equilibrar e formar o conjunto de dados. O processo de criação do *dataset* utilizado neste trabalho, figura 3, teve a mescla de dados reais captados pelo GPS do dispositivo e dados sintéticos, coletados com o auxílio do serviço de mapeamento e navegação *Google Maps*, desenvolvido pela *Google*, para consolidar o *dataset* final.

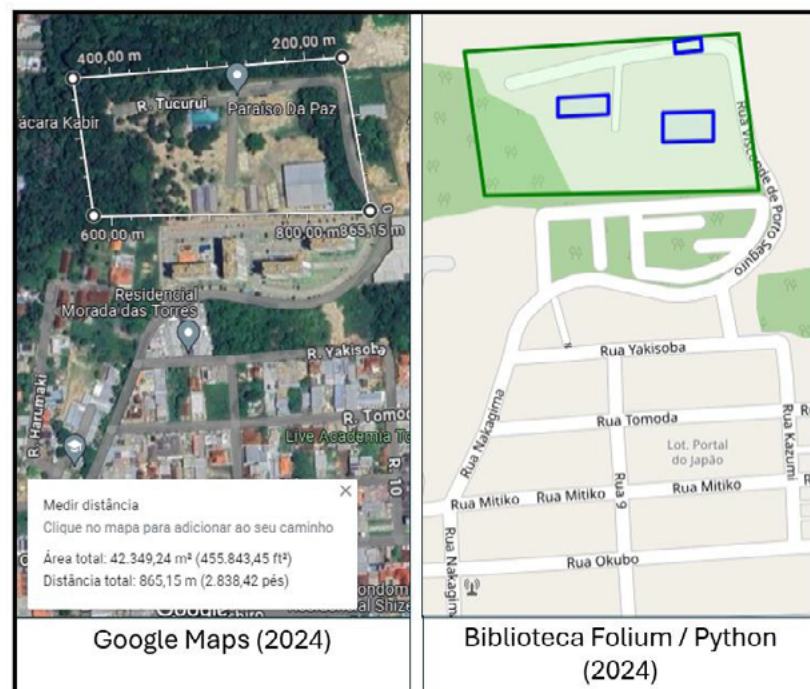
Figura 3 - Fluxo de dados para criação do dataset final



Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira validação da demarcação da área e subáreas foi realizada com imagens do *Google Maps* e com um código em *Python*, com a utilização da biblioteca *Folium* (figura 4), para plotagem do mapa utilizado como base do cenário de estudo deste trabalho.

Figura 4 - Validação do mapa e subáreas



Fonte: Google Maps e Folium (2024).

Os dados sintéticos adicionados ao *dataset* foram obtidos através de registros de coordenadas em pontos específicos dentro das subáreas. A segunda validação dos dados foi realizada para o *dataset* final, com o uso do *Python*, usando a biblioteca *Pandas*, e comparação dos resultados de algoritmos da ferramenta de análise WEKA. De modo a caracterizar os dados da movimentação e

atribuir um percentual de precisão ao modelo de estudo, os dados passaram pela análise em relação ao resultado do tempo de estadia ($T_{Estadia}$) como *On_time*, dentro do prazo pré-estabelecido; *Delay*, com atraso em relação ao tempo pré-estabelecido; e *Not_Started*, para os PRISMAS que ainda não iniciaram o processo dentro da área e não foram atribuídos a um veículo. Após o carregamento do *dataset*, uma análise prévia já indicou que a leitura validou o formato do arquivo e o número de instâncias e atributos, associado ao número de linhas e colunas existentes no arquivo.

- *Dashboards*: Os relatórios e imagens dos mapas com as localizações e demais informações foram criados com a utilização de códigos na linguagem Python, utilizando a biblioteca *Folium*. A partir dos relatórios foi desenvolvida uma página tipo *web*, para visualização nos navegadores de internet, utilizando HTML que significa Linguagem de Marcação de Hipertexto. O compartilhamento dos dados facilitou a publicação com a busca dos arquivos em rede local e a possibilidade do uso das mesmas em plataformas na nuvem associadas aos arquivos de dados gerados durante a disponibilização dos dados para os painéis de visualização.

RESULTADOS

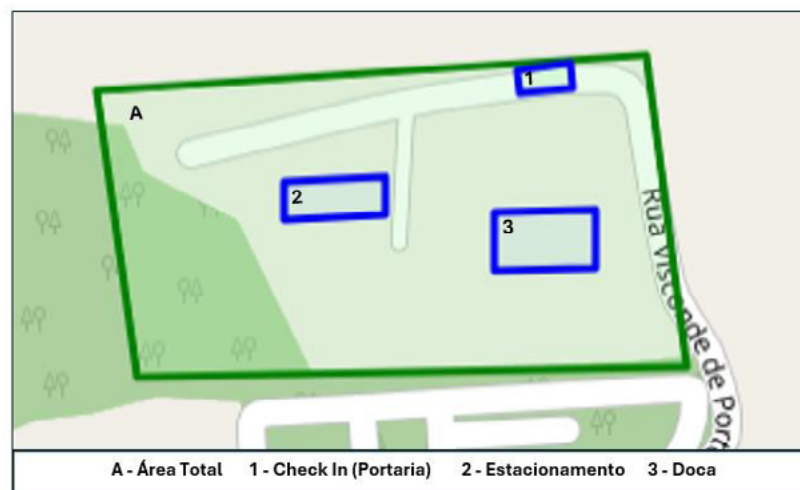
PROTÓTIPO E COLETA DE DADOS

Os dados de geolocalização foram coletados com a utilização do protótipo durante os percursos entre as subáreas da Portaria, do *Check In* da Portaria, do Estacionamento e da Doca. O cenário virtual proposto, figura 5, criado com a utilização da biblioteca *Folium*

do Python, para a coleta foi um cenário em ambiente simulado, com possibilidade de reprodutividade e repetibilidade em ambientes reais de movimentação de carga. A biblioteca *Folium* do Python possibilitou criar mapas interativos, com a adição de ícones para posicionamento dos PRISMAS, e a criação de arquivos HTML para compartilhamento. Para a demarcação da área total (A), foi utilizado o Google Maps, serviço de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite da Terra, desenvolvido pela empresa Google, seguindo os limites aproximados da área real do local de estudo.

O processo para o monitoramento consistiu no início do monitoramento na subárea de *Check In* (1), com a identificação do veículo e início do monitoramento. A segunda subárea de monitoramento foi identificada como Estacionamento, sendo o local de espera do veículo até o momento de nova movimentação. Finalmente, a última subárea (3) foi definida como sendo a área para o processo de carga ou descarga do veículo.

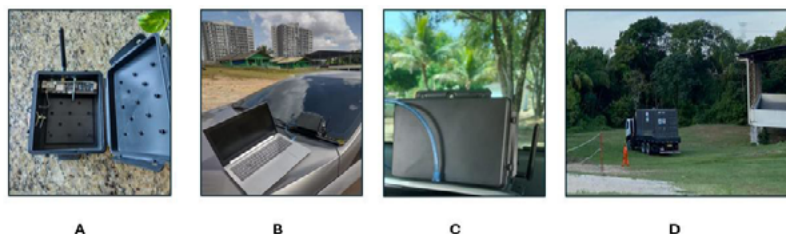
Figura 5 - Mapa do cenário virtual



Fonte: Mapa e demarcações gerados pelos autores.

A coleta de dados do GPS foi realizada dentro da área do cenário simulado, O protótipo PRISMA (A), foi instalado dentro de um veículo, figura 6-C, onde registrou os dados utilizados para a validação do estudo. Os percursos foram realizados dentro da área de simulação, percorrendo o trajeto entre as subáreas.

Figura 6 - Fotos do protótipo e do ambiente simulado



Fonte: Fotos capturadas pelos autores.

Durante a coleta dos dados, figura 6, pelo PRISMA (A), um *notebook* (B) ficou conectado para acompanhamento do recebimento, e gravação das coordenadas em um arquivo no formato CSV. No deslocamento o dispositivo foi colocado sobre o painel do veículo (C), permitindo o recebimento das coordenadas do GPS. A validação da área de carga e descarga foi realizada com a manobra de um veículo (D) dentro da subárea Doca.

VALIDAÇÃO DO DATASET

Para tratamento inicial e montagem das informações foi utilizado o programa Excel, constante do pacote Office 365. Uma primeira avaliação do *dataset* final foi realizada utilizando-se a importação do arquivo CSV, como tabela, e a exploração dos dados com o auxílio de comandos em *Python*, com as respostas demonstradas na figura 7.

Figura 7 – Resultados dos dados importados

```

print(df.head(5)) # Verifica a Leitura de 5 linhas do arquivo
E:\Python\python.exe C:\Users\maodr\AppData\Local\Microsoft\Windows\Apps\PythonSoftwareFoundation.Python.3.9.632022.2\Scratch\select_csv.py
PRJETO_ID  PRISMA_ID  Tipo_Veiculo  ...  Pos_ID  T_Estadia  T_Descarga
0  Prisma_001  1  P  ...  0  Not_started  0
1  Prisma_001  2  T  ...  0  Not_started  0
2  Prisma_001  3  P  ...  0  Not_started  0
3  Prisma_001  4  P  ...  0  Not_started  0
4  Prisma_001  5  P  ...  0  Not_started  0

print(df.columns) # Verifica o nome de todas as colunas
[5 rows x 13 columns]
Index(['PRJETO_ID', 'PRISMA_ID', 'Tipo_Veiculo', 'Ciclo_ID', 'Let', 'Lon',
       'Data_1', 'Hora_1', 'Hora_2', 'Tempo_ciclo', 'Pos_ID', 'T_Estadia',
       'T_Descarga'],
      dtype='object')
0  Not_started
1  Not_started
2  Not_started
3  Not_started
4  Not_started
...

print(df.info()) # Verifica valores nulos e tipo de strings
Name: T_Estadia, Length: 330, dtype: object
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 330 entries, 0 to 329
Data columns (total 13 columns):
#   Column          Non-Null Count  Dtype
---  --
0  PRJETO_ID       330 non-null    int64
1  PRISMA_ID       330 non-null    int64
2  Tipo_Veiculo    330 non-null    object
3  Ciclo_ID        330 non-null    int64
4  Let             330 non-null    float64
5  Lon            330 non-null    float64
6  Data_1         330 non-null    object
7  Hora_1         330 non-null    object
8  Hora_2         330 non-null    object
9  Tempo_ciclo    330 non-null    object
10 Pos_ID        330 non-null    int64
11 T_Estadia     330 non-null    object
12 T_Descarga    330 non-null    int64
dtypes: float64(2), int64(4), object(7)

```

Fonte: dados coletados pelos autores.

O resultado de saída do código em Python, com a biblioteca *Pandas*, com os destaques para três linhas demonstrou primeiramente que, os dados foram lidos corretamente ao serem importados do arquivo CSV para o *dataframe* *df*. O método *head* no comando *df* permitiu uma visualização rápida dos dados, trazendo o conteúdo das cinco primeiras linhas. Para o uso do método *columns* o resultado foi a visualização do nome de todas as colunas permitindo entender a estrutura dos dados importados. Como resultado de *info*, foi obtido um resumo conciso do *dataframe* da tabela importada, incluindo o número de entradas, ou seja, o número de linhas importadas; o tipo de dados de cada coluna e a contagem de valores não nulos, o que é útil para identificar possíveis problemas, como valores ausentes. O arquivo utilizado para criar o *dataframe* continha valores em todas as linhas e colunas.

Como resultado geral, temos a caracterização do arquivo importado como tabela com 330 linhas, 13 colunas, com todos os campos da tabela com dados válidos, por meio da contagem de 330 dados não nulos por coluna (*non-null Count* = 330). Os dados das colunas foram identificados em três tipos, sendo duas *float64*, quatro *int64* e sete *object*. O tipo *object* é um tipo de dados genérico, usualmente utilizado para representar dados de texto (*strings*), sendo

geralmente usados para as categorias ou identificadores de uma tabela. Para o tipo *int64* temos a representação de números inteiros de 64 bits, como valores inteiros, contagens e número de identificação. Os dados do tipo *int64* referem-se a números inteiros de 64 bits. Isso significa que esses dados são números inteiros que podem ser armazenados em 64 bits de memória; podendo representar uma faixa ampla de valores inteiros, armazenar contagens ou índices e eficientes quando se trabalha em termos de armazenamento e processamento de grandes conjuntos de dados. Após a caracterização da tabela e sua prévia validação, com *Python*, foi utilizado o software WEKA Explorer, para análise de dados do *dataset* final, selecionando-se sete configurações diferentes de classificadores, tabela 1, com algoritmos nativos da ferramenta para comparação dos resultados, como matriz de confusão e árvore de decisão, figura 8.

Tabela 1 - Resultado da Análise de dados no WEKA

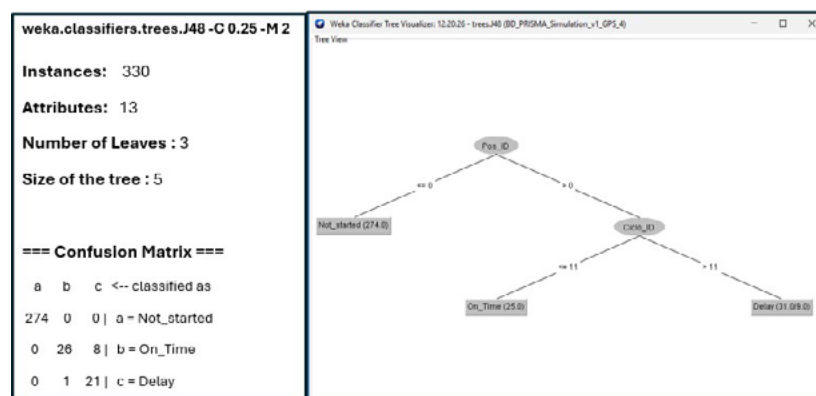
Classificador	1	2	3	4	5	6	7
Modelo de teste	10-fold cross validation	split 80.0% train, remainder test	split 80.0% train, remainder test	split 20,0% train, remainder test	split 20.0% train, remainder test	split 20,0% train, remainder test	split 20.0% train, remainder test
Tempo para construção do modelo (segundos)	0	0,11	0,26	0,02	0,94	1,02	0,06
Classificações corretas	321	64	64	255	253	253	250
Classificações incorretas	9	2	2	9	11	11	14
Classificações corretas (%)	97,2727	96,9697	96,9697	96,5909	95,8333	95,8333	94,6970
Classificações incorretas (%)	2,7273	3,0303	3,0303	3,4091	4,1667	4,1667	5,3030
Precisão média	0,978	0,977	0,977	0,979	0,972	0,958	0,961

1. `weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2`
2. `weka.classifiers.meta.LogitBoost -P 100 -L -1.7976931348623157E308 -H 1.0 -Z 3.0 -O 1 -E 1 -S 1 -I 10 -W weka.classifiers.trees.DecisionStump`
3. `weka.classifiers.functions.SMO -C 1.0 -L 0.001 -P 1.0E-12 -N 0 -V -1 -W 1 -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -E 1.0 -C 250007" -calibrator "weka.classifiers.functions.Logistic -R 1.0E-8 -M -1 -num-decimal-places 4"`
4. `weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2`
5. `weka.classifiers.functions.SimpleLogistic -I 0 -M 500 -H 50 -W 0.0`
6. `weka.classifiers.trees.LMT -I -1 -M 15 -W 0.0`
7. `weka.classifiers.rules.DecisionTable -X 1 -S "weka.attributeSelection.BestFirst -D 1 -N 5"`

Fonte: Dados obtidos pelos autores utilizando WEKA Explorer.

O tempo de construção do modelo ficou abaixo de 1.02 segundos, entre as variações dos modelos de testes utilizados, rodando em um notebook com processador IntelCore i3-7020U CPU @ 2.30Ghz e 12 GBytes de memória.

Figura 8 – Algoritmo J48 – Resultados



Fonte: Dados obtidos pelos autores utilizando WEKA Explorer

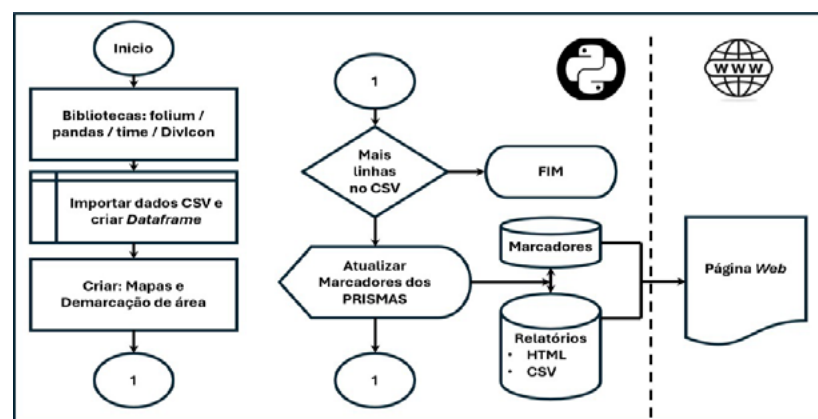
Ao final, foi possível observar a precisão de cada um dos modelos, tendo como resultado para o conjunto de dados, os valores entre 0.961 e 0.979. Isso representou uma classificação correta do

atributo T_Estadia entre os percentuais de 94.6970% e 97.2727%. O relatório do classificador J48, árvore de decisão, retornou as características da base de dados em seu resumo, informando 330 linhas com 13 atributos em colunas. A árvore de decisão foi demonstrada em números de folhas (*Leaves*) e tamanho da árvore (*tree*), sendo respectivamente 3 e 5 e sua visualização (*Tree View*). O resultado da matriz de confusão (*Confusion Matrix*), demonstra a consistência da precisão do modelo com a verificação do maior número de dados na diagonal formada pelos números 274, 26 e 21, proporcionando a correta classificação na maioria dos casos, como identificado pelos percentuais de classificação correta.

VISUALIZAÇÃO E PUBLICAÇÃO DO MONITORAMENTO

Para visualização dos resultados do monitoramento, foi desenvolvido um programa, figura 9, em código Python interligado com uma página tipo *web* atualizada com uma sequência de arquivos HTML.

Figura 9 - Fluxograma do Programa de Monitoramento

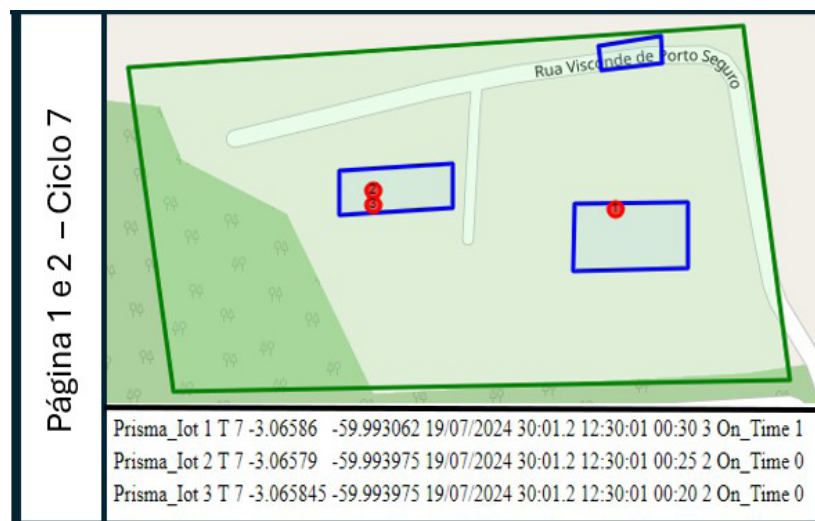


Fonte: elaborado pelos autores.

O fluxograma foi dividido para demonstrar duas partes; sendo a primeira, na esquerda, desenvolvida em código Python, responsável por importar os dados CSV do *dataset* final e utilizá-los em um *dataframe* para sobreposição nos mapas carregados com a utilização da biblioteca *Folium* na criação dos mapas e dos pontos de monitoramento. O programa seguiu a execução até o final do arquivo CSV, ou seja, até a última linha de registro. A segunda parte do fluxograma, à direita, permitiu o uso dos arquivos criados pelo código inicial para publicação no programa navegador de internet *Google Chrome*. Para efeito da visualização dos resultados foi utilizado um intervalo de 20 segundos entre a atualização dos mapas, simulando intervalos reais de 5 minutos entre as atualizações. Em cada ciclo de atualização, foram gravados novos marcadores sobre o mapa e um relatório, que foram demonstrados em duas páginas *web*, figura 10. O relatório gerou como resultado de saída todos os PRISMAS em operação no intervalo monitorado, desta forma, os PRISMAS que não estavam associados a um veículo não aparecem no mapa de monitoramento.

SUMÁRIO

Figura 10 – Páginas web (Mapa e Relatório)



Fonte: Páginas web criadas pelos autores (2024).

No resultado publicado em tela de um ciclo do monitoramento, encontramos a respectiva informação de posicionamento e identificação dos PRISMA, tipo de veículo (T = Truck / Caminhão); informações do geoposicionamento; data; hora; tempo de monitoramento dentro da área; localização (1 = *Check in*, 2 = Estacionamento, 3 = Doca); e o *status* em função de um tempo de permanência pré-estabelecido (On_Time \leq 45 minutos; Delay $>$ 45 minutos). Na tela do computador onde temos a página web, temos como resultado a alternância das telas com atualizações periódicas, onde para a simulação foi estabelecido o intervalo de 10 segundos para cada tela. Adicionalmente, um arquivo CSV com os dados do relatório também foi salvo para possibilitar futura interação com outras plataformas.

No código foi implementado a impressão da informação de arquivos salvos no monitor de acompanhamento do Pycharm. No Explorador de Arquivos, do Windows, foi possível verificar a lista de arquivos salvos com as informações geradas a cada ciclo. Um arquivo HTML adicional e que funciona como arquivo principal foi criado para publicar as informações dos arquivos HTML de mapas, e com o relatório do posicionamento em cada ciclo. Desta forma, durante a execução do código `Prisma_GPS_Dash.py` foram obtidos os resultados de criação dos arquivos.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou a aplicação do monitoramento de movimentação de cargas utilizando dispositivos IoT com transmissão e compartilhamento de dados. A coleta de dados foi satisfatória, e o conjunto de dados validado para as coordenadas e valores utilizados dentro da proposta de simulação e demonstração de posicionamento sobre mapas e áreas previamente demarcadas. Com a

utilização de conceitos e ferramentas aplicadas à IoT foi possível a simulação e demonstração da capacidade de monitoramento dentro de um ambiente simulado e sua aplicação em ambientes reais onde a movimentação de cargas necessite de uma gestão.

A tecnologia de comunicação sem fio, com o uso da placa ESP32; e o uso de bibliotecas e recursos disponíveis para uso na programação de códigos em ambiente Python, proporcionou uma interseção entre a IoT e a logística inteligente. O protótipo e modelo permitiu o desenho de uma arquitetura com possibilidade de expansão. Setores de logística, produção e serviços, ligados a necessidade do uso de transporte de matéria-prima ou produto acabado podem se beneficiar dos resultados deste estudo para a otimização de ações de campo em função de dados coletados pelo sistema e pelo uso da tecnologia ESP32.

O experimento confirmou sua posição dentro do projeto de rede logística, Fontaine *et al.*, 2023; Tang, 2020) quanto ao monitoramento logístico, Li *et al.* (2021). A oportunidade deixada de conexão de muitos outros dispositivos na rede mostra a possibilidade da ampliação e criação de uma robusta rede, com diversos módulos ESP32, de coleta de dados e atuação para não apenas um monitoramento, mas para um gerenciamento efetivo independentemente do tamanho da frota ou da área.

Como trabalho futuro é possível dar continuidade no uso de outras ferramentas de visualização das informações, chegando inclusive à possibilidade de criação de aplicações para dispositivos móveis. Com uma opção para o setor logístico, mas sem limitar sua potencialidade de aplicações, seja o protótipo ou o sistema implementado permitirá uma melhor visualização do cenário de monitoramento proporcionando oportunidades tomada de decisão. Como proposta, um projeto de uso de banco de dados em nuvem e desenvolvimento de aplicação para uso em celulares.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto ARANOÚÁ executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., usando recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, estando sua divulgação e publicidade em conformidade com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

ATEEQ, M. *et al.* Enhancing construction waste transportation management using internet of things (IoT): An evaluation framework based on AHP-FCE method. **Buildings**, v. 15, n. 8, p. 1381, 2025. <https://doi.org/10.3390/buildings15081381>.

BALA, K.; PAUL, S.; MOHANTY, S. N. *et al.* Improved prediction analysis with hybrid models for thunderstorm classification over the Ranchi region. **New Gener. Comput.**, v. 42, p. 7-31, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00354-022-00174-2>

BHARGAVA, A. *et al.* Industrial IoT and AI implementation in vehicular logistics and supply chain management for vehicle mediated transportation systems. **Int J Syst Assur Eng Manag**, v. 13, n. S1, p. 673-680, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01581-2>

CHAUDHURI, A. *et al.* Consumer-driven sustainability transitions in the food supply chain: An initial simulation framework. **Procedia Computer Science**, v. 257, p. 344-353, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.046>.

CIMINI, C. *et al.* Smart logistics and the logistics operator 4.0. **IFAC-PapersOnLine**, v. 53, n. 2, p. 10615-10620, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2818>.

NASCIMENTO-E-SILVA, D.; FROTA, V. B.; SANTOS, A. J. **Internet das coisas**: arquiteturas teóricas e metodológicas. Belo Horizonte: Poisson, 2023. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-298-3>.

DOYLE, J. M. Essential-service shopping and spatial disinvestment among black homeowners in Ward 8, Washington, DC. **Urban Science**, v. 9, n. 9, p. 384, 2025. <https://doi.org/10.3390/urbansci9090384>.

El Amrani, A. M. *et al.* A deep reinforcement learning framework for last-mile delivery with public transport and traffic-aware integration: A case study in Casablanca. **Infrastructures**, v. 10, n. 5, p. 112, 2025. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10050112>.

GAUR, G. K.; MADAAN, J.; CHUNGCHAROEN, E. A Bayesian-based decision modeling approach for prioritizing barriers to sustainability in packaging supply chain. **Environment Systems and Decisions**, v. 45, n. 3, p. 31, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10669-025-10025-2>.

GEETHAPRIYA, N. *et al.* Design and development of a smart internet of things (IoT)-based monitoring system for real-time health and performance tracking of knee implants. *In: 2025 International Conference on Modern Sustainable Systems (CMSS)*. IEEE 2025, p. 847-853. <https://doi.org/10.1109/CMSS66566.2025.11182566>.

GUGSSA, M. A. Barriers to environmental education in Ethiopia: Do they differ from a global analysis? **International Research in Geographical and Environmental Education**, v. 34, n. 2, p. 156-173, 2025. <https://doi.org/10.1080/10382046.2024.2352285>.

BÜYÜKÖZKAN, G.; ILICAK, Ö. Smart urban logistics: Literature review and future directions. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 81, p. 101197, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101197>.

LI, H.; HAN, D.; TANG, M. Logisticschain: a blockchain-based secure storage scheme for logistics data. **Mobile Information Systems**, v. 2021, n. 1, p. 8840399, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8840399>.

ISSAOUI, Y. *et al.* Toward smart logistics: engineering insights and emerging trends. **Arch Computat Methods Eng**, v. 28, p. 3183–3210, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09494-2>.

KAREEM, L. O.; NWAGWU, C. J.; AKHIGU, L. E. Green logistics and economic efficiency in nigeria's road transport and logistics sector. **Open Journal of Management Science**, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2025. <https://doi.org/10.52417/ojms.v6i1.755>.

MAHESHWARI, P. *et al.* Internet of things for perishable inventory management systems: an application and managerial insights for micro, small and medium enterprises. **Annals of Operations Research**, v. 350, n. 2, p. 395-423, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04277-9>.

MAHESHWARI, P. *et al.* Internet of things for perishable inventory management systems: An application and managerial insights for micro, small and medium enterprises. **Annals of Operations Research**, v. 350, n. 2, p. 395-423, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04277-9>.

MATOS, D. D. D. E-commerce and logistical urbanization in last-mile delivery. **Cadernos Metr pole**, v. 27, p. e6469458, 2025. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2025-6469458-en>.

MENDOZA, A. P.; CHÁVEZ, J. L. C.; MENDOZA, R. T. Applications and methodologies of Internet of Things in warehouses and inventory management: A systematic literature review. **Procedia Computer Science**, v. 253, p. 1236-1245, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.185>.

MUMIN, M. A.; YAKUBU, I. N. The impact of trade openness on logistics performance in Africa. **Cureus Journal of Business and Economics**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2025. <https://doi.org/10.7759/s44404-024-02234-w>.

NAGESH, A. S.; APARNA, C.; RAO, M. C. S. A GPS-enabled fuel sensor based vehicle tracking system for fleet management using the internet of things. **Scalable Computing: Practice and Experience**, v. 26, n. 1, p. 34-47, 2025. <https://doi.org/10.12694/scpe.v26i1.3479>.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Manual do método científico-tecnológico**: edi o s ntetica. Manaus: DNS editor, 2020.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **O método científico-tecnológico**: fundamentos. Manaus: DNS editor, 2021a

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **Handbook of the scientific-technological method**: Synthetic edition. Manaus: DNS editor, 2021b.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **O método científico-tecnológico**: questões de pesquisa. Manaus: DNS editor, 2021c.

NASCIMENTO-E-SILVA, D. **O método científico-tecnológico**: coleta de dados. Manaus: DNS editor, 2023.

OHAKWE, C. R.; WU, J. The impact of organizational sustainability on logistics performance: exploring the role of infrastructure in sustainable logistics. **The International Journal of Logistics Management**, v. 36, n. 5, p. 1662-1685, 2025. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2024-0640>.

OLAWADE, D. B. *et al.* Robotic surgery in healthcare: current challenges, technological advances, and global implementation prospects. **Journal of robotic surgery**, v. 19, n. 1, p. 1-18, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11701-025-02702-w>.

PAN, S. *et al.* Smart city for sustainable urban freight logistics. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 7, p. 2079–2089, 2021. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1893970>

PANG, D. *et al.* Enhancing e-commerce management with machine learning and internet of things: design and development. **Journal of the Knowledge Economy**, v. 16, n. 1, p. 290-316, 2025). <https://doi.org/10.1007/s13132-024-01969-y>.

PIRES, L. M. *et al.* Design and development of a high-accuracy IoT system for real-time load and space monitoring in shipping containers. **Designs**, v. 9, n. 2, p. 43, 2025. <https://doi.org/10.3390/designs9020043>.

FONTAINE, P.; MINNER, S.; SCHIFFER, M. Smart and sustainable city logistics: Design, consolidation, and regulation. **European Journal of Operational Research**, v. 307, n. 3, p. 1071-1084, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.09.022>

PRABAKAR, D.; MEENALOCHINI, P., A, B. R.; DEEPAK, F. X. E. A hybrid approach based internet of things assisted power monitoring system for smart grid. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 125, n. 2, p. 30, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10470-025-02500-2>.

RAPHAEL, A.; ILUZ, D.; MASTAI, Y. Agricultural plastic waste challenges and innovations. **Sustainability**, v. 17, n. 17, p. 7941, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17177941>.

SANTOS, T. *et al.* Logistical barriers and purchasing activities: a study with self-employed saleswomen in the city of Manaus. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 19, n. 1, p. 1-31, 2025. <https://doi.org/10.61164/6ppp1r07>.

SATRIA, W. K. *et al.* DST: GPS Tracker for outdoor activities of children with down syndrome based on internet of things. *In*: **2025 International Conference on Computer Sciences, Engineering, and Technology Innovation (ICoCSETI)**. IEEE 2025, p. 443-448. <https://doi.org/10.1109/ICoCSETI63724.2025.11019559>.

SHEE, H. K.; MIAH, S. J.; DE VASS, T. Impact of smart logistics on smart city sustainable performance: an empirical investigation. **The International Journal of Logistics Management**, v. 32, n. 3, p. 821-845, 2021. <https://doi.org/10.1108/IJLM-07-2020-0282>.

SUMÁRIO

SILVA, A. L. *et al.* Barriers to implementing reverse logistics in companies: A systematic literature review. **Studies in Multidisciplinary Review**, v. 6, n. 1, p. e13889-e13889, 2025. <https://doi.org/10.55034/smr6n1-004>.

VAHABZADEH, S. *et al.* Assessment of relief transport challenges in areas with outdated infrastructure based on the reliability concept of ZE numbers. *In*: HASSELI, G.; HAJIAGHAEI-KESHTELI, M.; MOSLEM, S. (Eds.). **Reliable decision-making for sustainable transportation**. Maryland Heights: Academic Press, 2026, p. 71-95. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33740-6.00003-7>.

WANG, H. *et al.* An intelligent optimization for the vehicle routing of multi-commodity and multi-trip supply Chain logistics in the internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, 2025, p. 1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3619495>.

WANG, K.; DU, N. Real-time monitoring and energy consumption management strategy of cold chain logistics based on the internet of things. **Energy Informatics**, v. 8, n. 1, p. 34, 2025. <https://doi.org/10.1186/s42162-025-00493-w>.

WOSCHANK, M., RAUCH, E.; ZSIFKOVITS, H. A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. **Sustainability**, v. 12, p. 3760, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093760>.

TANG, X. Research on smart logistics model based on internet of things technology. **IEEE Access**, v. 8, p. 151150-151159, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016330>.

SONG, Y. *et al.* Applications of the internet of things (IoT) in smart logistics: A comprehensive survey. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 6, p. 4250-4274, 2020. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3034385>.

ZHANG, Z.; LIU, X.; GONG, L.; & ZHUANG, Z. A signature-based secure interaction scheme for logistics management systems in the internet of things. **Frontiers in Physics**, v. 13, p. 1540716, 2025. <https://doi.org/10.3389/fphy.2025.1540716>.

ZULKARNAIN, A. F. *et al.* Implementation of global positioning system (GPS) module in motor-boat crossing tracking system using Lora communication protocol. *In*: **2025 International Conference on Computer Sciences, Engineering, and Technology Innovation (ICoCSETI)**. IEEE 2025, p. 939-943. <https://doi.org/10.1109/ICoCSETI63724.2025.11019471>.

8

*Reginaldo Motta Cordovil de Vasconcelos
Ronaldo de Souza Magalhães
Alyson de Jesus dos Santos
Hugo Alves Velozo
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

SISTEMA DE MONITORAMENTO INTELIGENTE POR MEIO DE DETECÇÃO DE RUÍDO DE EMBARCAÇÕES DE ALTA PROPULSÃO

SUMÁRIO

RESUMO:

O tráfico de drogas transnacional na Amazônia, especialmente através de rotas fluviais, representa um desafio significativo para as forças de segurança. A utilização de embarcações de alta potência, capazes de transportar grandes quantidades de drogas em altas velocidades, agravou essa problemática. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento inteligente baseado na detecção de ruído dessas embarcações através de um sistema de sensores acústicos estrategicamente posicionados em pontos críticos das rotas fluviais, capazes de capturar e analisar os ruídos emitidos pelas embarcações.

Palavras-chave: Tráfico de drogas, Sistema de monitoramento, Monitoramento inteligente, Detecção de ruído, Embarcações de alta propulsão, Internet das coisas.

INTRODUÇÃO

O tráfico de drogas transnacional é um problema complexo e multifacetado que afeta todos os continentes do planeta. Apesar dos esforços internacionais para combatê-lo, o tráfico continua a ser uma atividade lucrativa (Nasrijal; Joni, 2015) e resiliente (Bancroft, 2029), com impactos sociais, políticos e econômicos devastadores (Marong *et al.*, 2025; Aparicio *et al.*, 2025; Annamalah *et al.*, 2025). A tecnologia é uma ferramenta poderosa que pode contribuir significativamente para o combate ao tráfico transnacional de drogas (Porkpah; Soy, 2025; Icedo *et al.*, 2025). Através do investimento em soluções tecnológicas inovadoras, capacitação de profissionais e criação de marco regulatório adequado, é possível fortalecer a segurança pública, reduzir o impacto social do tráfico e construir um futuro mais seguro para todos, principalmente na Amazônia.

As fronteiras amazônicas são palco de intenso jogo de poder entre grupos criminosos transnacionais, que utilizam a região como rota estratégica para o tráfico de drogas (Pereira *et al.*, 2024; Ferreira, 2025a; Ferreira, 2025b). Essa dinâmica ilegal não apenas ameaça a segurança dos países envolvidos, como também alimenta conflitos e instabilidade em toda a América do Sul, como acontece em regiões dominadas pelo tráfico em todo o mundo (Azizi *et al.*, 2025; Soltan, 2024; Udo; Agbai, 2024). A vastidão da região, a dispersão das comunidades ribeirinhas e a falta de infraestrutura de fiscalização fluvial dificultam o trabalho das autoridades, permitindo que os traficantes operem com relativa liberdade. Essa vastidão dificulta a criação de uma barreira física eficaz contra o tráfico, assim como a fiscalização e o controle do fluxo de pessoas e bens. A figura 1 mostra as rotas fluviais do Rio Negro, Rio Japurá e Rio Iça, ambos utilizados pelos narcotraficantes e que desempenham um papel crucial no tráfico de drogas transnacional da região amazônica (Cruz, 2020). A navegabilidade dos rios amazônicos, especialmente

durante a cheia, facilita o transporte de grandes quantidades de drogas e outros bens ilícitos.

Figura 1 - Principais rotas fluviais do narcotráfico na Tríplice Fronteira



Fonte: Cruz (2020).

Os traficantes utilizam diversos tipos de embarcações para transportar suas materialidades, desde pequenas canoas até grandes barcos. As embarcações são frequentemente camufladas como embarcações de pesca ou transporte de carga, para evitar a detecção pelas autoridades. As drogas e outros bens ilícitos são escondidos em compartimentos secretos nas embarcações, dentre as cargas lícitas ou em áreas remotas da floresta amazônica, para dificultar a sua localização pelas autoridades. A quantidade de motores de alta propulsão utilizados para o transporte de grande volume de drogas tem aumentado a cada ano.

Equipadas com motores de grande potência, essas embarcações atingem velocidades elevadas, permitindo aos traficantes escapar das autoridades com mais facilidade. Possuem maior

capacidade de carga, possibilitando o transporte de grandes quantidades de produtos ilícitos em uma única viagem. O ruído gerado por essas embarcações pode atingir níveis extremamente altos, ultrapassando 180 dB a uma curta distância. Uma estimativa empírica é que o ruído gerado por embarcações com motorização acima de 200 HP pode ser audível a distâncias superiores a 10 km e ter intensidade sonora de 61 dB, dependendo das condições do ambiente. A presença de vento, chuva ou outros sons no ambiente, assim como obstáculos como árvores, ilhas ou margens íngremes, podem influenciar na propagação do som e interferir na audibilidade do ruído das embarcações.

A Internet das Coisas (IoT), em conjunto com o sensoriamento por ruído, oferece uma solução inovadora para o monitoramento de áreas sensíveis e remotas, como se pode inferir a partir de estudos como os de Ramadan *et al.* (2024), Hazmi *et al.* (2023) e Satapathy *et al.* (2022). Através da coleta e análise dos dados coletados por sensores acústicos, é possível realizar o monitoramento com base na identificação acústica de cada embarcação, gerando informações valiosas sobre o *modus operandi* de narcotraficantes. IoT pode ser definida como um nó inteligente e de interoperabilidade interconectado em uma rede de infraestrutura global dinâmica, também busca implementar o conceito de conectividade de qualquer coisa, em qualquer lugar a qualquer hora (ali *et al.*, 2015; Dwivedi *et al.*, 2025; Rosiana *et al.*, 2025).

A acústica é a teoria de pequenas flutuações da mecânica dos fluidos compressíveis. (Dowling; Sabra, 2015) e estuda a produção e transmissão de ondas como pressão sonora (Vallés, 2024), como ondas mecânicas (Armitage, 2024). A propagação de ondas sonoras carrega informações sobre sua fonte geradora, local de origem e ambiente no qual se propagaram. Estas características de informação das ondas acústicas podem ser exploradas para uma ampla variedade de atividades de detecção remota no ar e na água.

O sensoriamento remoto em tempo real por ruído é uma tecnologia inovadora que utiliza sons para mapear e monitorar o meio ambiente (Gowda *et al.*, 2026; Okeukwu *et al.*, 2025; Golondrino *et al.*, 2025). Essa tecnologia pode ser utilizada para monitorar o deslocamento de tais embarcações em pontos pré-definidos.

Neste sentido, este estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento inteligente por meio de detecção de ruído de embarcações de alta propulsão que realizam o transporte de drogas e materiais ilícitos nos leitos dos rios do Estado do Amazonas. O sistema deverá coletar o ruído proveniente de embarcações próximas ao sistema de monitoramento inteligente, analisar e identificar ruídos de embarcações de alta propulsão, obter a localização geográfica pelo módulo GPS, armazenar os dados coletados e enviar periodicamente para um servidor em nuvem as informações contendo frequência captada, localização geográfica, data, horário. Sua finalidade é oferecer uma maneira imediata e precisa de detectar possíveis embarcações de narcotraficantes que possam vir utilizar trechos monitorados, podendo então subsidiar os Órgãos de Inteligência com dados fidedignos para elaboração dos Planos de Operações das Forças de Segurança Pública.

A principal justificativa da realização deste estudo foi o aumento crescente da produção e distribuição de drogas na Amazônia brasileira e no estado do Amazonas. O Amazonas faz fronteira com os maiores produtores de folha de coca do mundo (Peru e Colômbia), através da região conhecida como Tríplice Fronteira. Essa localização geográfica estratégica torna o Amazonas um corredor crucial para organizações criminosas escoarem drogas e se instalem, formando territórios e espalhando violência por meio de atividades ilícitas, com aumento crescente da produção e tráfico (Couto, 2023). A diversidade de rotas oferecidas pela Bacia Amazônica favorece o transporte fluvial, que supera o aéreo e rodoviário, dificultando a vigilância. Ao chegar à Amazônia brasileira,

a cocaína proveniente da região andina segue por dois principais destinos: ao Norte, em direção ao Caribe e México, para abastecer o mercado estadunidense, e à Europa, passando pelo Nordeste e Sudeste do Brasil, abastecendo o mercado interno do país. A produção de drogas nos países andinos, principalmente coca e seus derivados, tem sido um problema persistente e complexo nas últimas décadas. Entre 2019 e 2023, essa atividade ilícita continuou a ser uma das principais fontes de renda para grupos criminosos organizados na região.

Apesar de esforços governamentais e internacionais para erradicar os cultivos ilegais, a demanda por cocaína nos mercados internacionais e a complexidade das redes criminosas têm dificultado a resolução desse problema. Assim, o benefício esperado com a criação dessa tecnologia é o monitoramento remoto em tempo real por sensor acústico em leitos dos rios, porque oferece uma série de benefícios para a segurança pública, em forma de informações valiosas sobre o deslocamento de possíveis embarcações criminosas, que possibilita que as autoridades tomem medidas proativas para prevenir e combater o tráfico transnacional de drogas e bens de origem ilícita, para a garantia da segurança e incolumidade pública.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- *Microcontrolador*: o microcontrolador ESP32 DevKit V1 (Figura 2) foi utilizado para desenvolver esta solução devido às suas características de baixo custo, facilidade de uso, alto desempenho e conectividade, podendo ser

utilizados em diversas aplicações. O ESP32 possui um conversor analógico-digital (ADC) de alta resolução que permite a leitura de dados de sensores de ruído, como microfones e acelerômetros. Além de poder transmitir os dados processados para outros dispositivos via Wi-Fi, Bluetooth e LoraWAN, para visualização, análise e armazenamento dos dados coletados.

Figura 2 - ESP32 DevKit V1



Fonte: foto capturada pelos autores.

- **Sensor de ruído:** a figura 3 mostra o microfone de eletreto combinado com o amplificador LMV321, capaz de amplificar sinais fracos captados, tornando-o compatível com outros componentes eletrônicos e sistemas de áudio. O LMV321, é um amplificador operacional de alto desempenho, ideal para diversas aplicações, incluindo pré-amplificadores de microfone.

Figura 3 - Microfone de Eletreto + LMV321

Fonte: foto capturada pelos autores.

- **Módulo GPS:** o GPS NEO-6M, módulo receptor GPS (Global Positioning System), bastante popular e amplamente utilizado em diversos projetos eletrônicos, como drones, robôs, sistemas de rastreamento e dispositivos IoT. Sua principal função é fornecer informações precisas sobre a localização geográfica de um dispositivo, incluindo latitude, longitude, altitude e hora (figura 4).

Figura 4 - Módulo GPS NEO-6M

Fonte: foto capturada pelos autores.

- *Real Time Clock*: foi utilizado o módulo DS3231, chip bastante popular em projetos eletrônicos que necessitam de uma marcação precisa do tempo, mesmo quando a alimentação principal é interrompida. É comumente chamado de relógio de tempo real (RTC) e utilizado em conjunto com microcontroladores como Arduino, ESP32 e Raspberry Pi (figura 5).

Figura 5 - Real Time Clock RTC DS3231 com Bateria

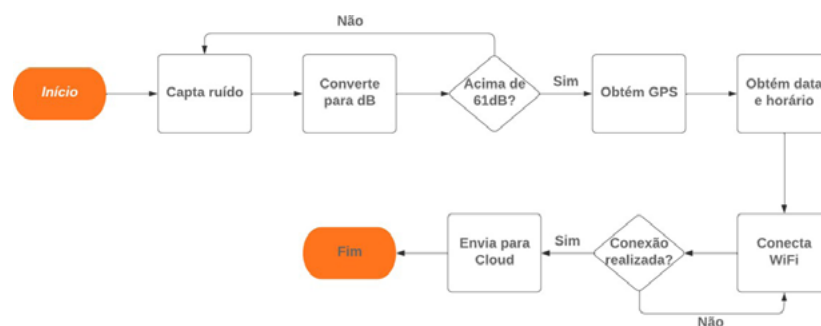


Fonte: foto capturada pelos autores.

- *Fluxograma de Software*: o fluxograma de Software do processo fez o monitoramento de ruídos efetuado pelo sistema. O processo inicia com a função de captura do ruído, onde nesta etapa é efetuada a coleta e processamento do dado coletado. Em seguida, o sistema converte a tensão pico a pico gerada

pelo conversor ADC em decibéis. Caso esse valor exceda o limite pré-configurado, o sistema realizará obtenção da geolocalização e os dados temporais. Caso exista uma conexão estabelecida entre o ESP32 e o roteador de dados, o dispositivo realizará o envio dos dados por meio de requisição com o protocolo Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP) para o servidor em nuvem, caso contrário, é refeita a tentativa de conexão até o envio dos dados (figura 6).

Figura 6 - Fluxograma de Software



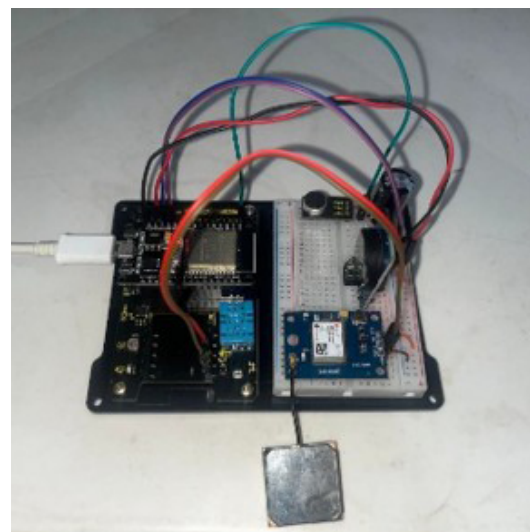
Fonte: elaborado pelos autores.

MÉTODOS

A figura 7 mostra a implementação dos elementos físicos do protótipo, bem como suas conexões com os terminais do ESP32 com o auxílio de uma placa protoboard. Primeiramente foram realizadas as conexões dos terminais VCC, GND e OUT do sensor de ruído aos terminais 3V3, GND e PIN32 do ESP32, respectivamente. Foi realizada a conexão de um capacitor eletrolítico de 10 μ F 16V em paralelo a saída do sensor de ruído de forma a eliminar os ruídos de corrente alternada que possam interferir nas medições. Em seguida foram realizadas as conexões dos terminais VCC, GND, RX e TX do módulo GPS aos terminais 3V3, GND, RX2 e TX2 do ESP32, respectivamente.

E por fim foram realizadas as conexões dos terminais VCC, GND, SDA e SCL do módulo RTC aos terminais 3V3, GND, SDA e SCL do ESP32. E para garantir que cada módulo estivesse funcionando corretamente, foram realizados testes individuais com codificação dos exemplos de cada biblioteca associada.

Figura 7 - Implementação dos dispositivos



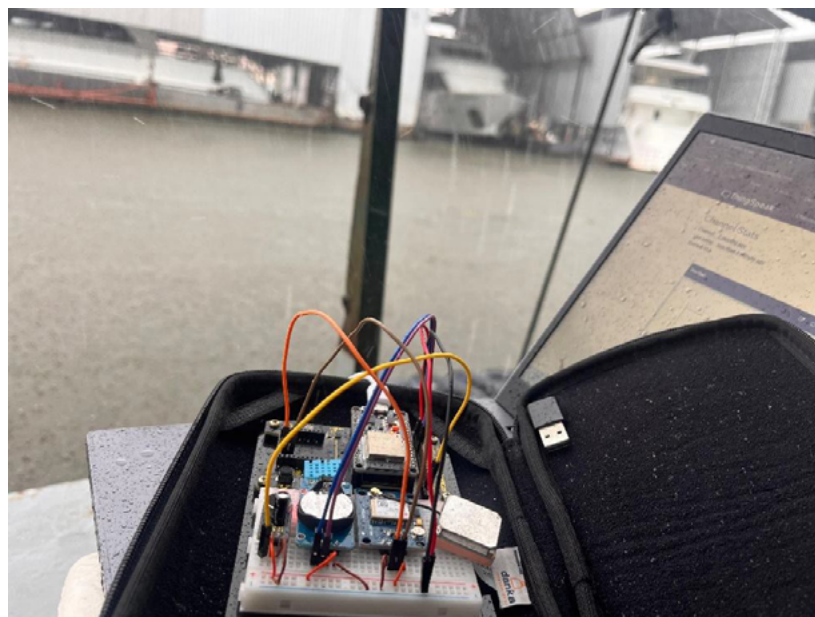
Fonte: foto capturada pelos autores.

Após a interligação dos elementos físicos ao ESP32 iniciou-se o desenvolvimento do software da solução proposta. Este desenvolvimento seguiu exatamente três etapas: desenvolvimentos das funções de configuração de cada módulo, desenvolvimento da função de processamento de sinais para detecção de ruídos e desenvolvimento da função loop para gerenciar o funcionamento do sistemas e fazer o envio dos dados. Para realizar tal envio foi configurado o módulo WiFi embutido na placa do ESP32 com a utilização de conexão pareada com um smartphone em modo Access Point.

RESULTADOS

A figura 8 mostra o sistema implementado durante os testes realizados no igarapé do Tarumã-Açu, afluente do Rio Negro. Foram utilizadas as dependências da base fluvial da 2ª Companhia Fluvial do Batalhão de Policiamento Ambiental da Polícia Militar do Amazonas como posto de observação e coleta de dados. Podendo simular o mais próximo possível da sua utilização operacional. Durante os testes pude constatar a interferência por ruídos ambientais durante chuva torrencial, que elevaram o sinal captado em aproximadamente 4 a 7 dB, com isso algumas embarcações de média propulsão não foram detectadas pelo sistema.

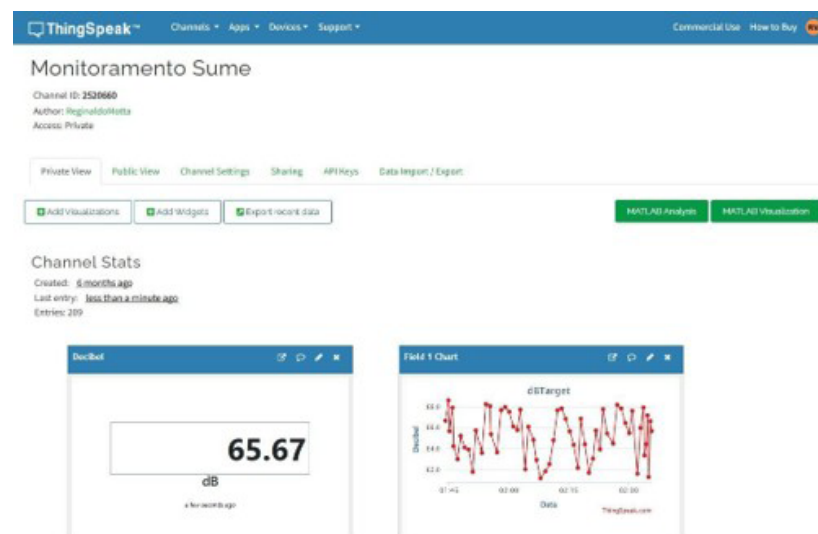
Figura 8 - Sistema em teste no igarapé do Tarumã-Açu



Fonte: foto capturada pelos autores.

A figura 9 demonstra os dados enviados a plataforma em nuvem ThingSpeak durante os testes de bancada. Para melhor acompanhamento foram criados dois painéis de visualização, o primeiro informando o valor da intensidade sonora em decibéis no momento da medição e o segundo em forma de gráfico demonstrando uma evolução temporal das medições pelo sensor de ruído. Vale ressaltar que a plataforma permite a exportação dos dados coletados em formato .xls e .csv, possibilitando a utilização em ferramentas de análise de dados.

Figura 10 - Resultados obtidos na plataforma ThingSpeak



Fonte: dados coletados pelos autores.

Os testes realizados com o protótipo revelaram resultados bastante promissores, demonstrando a viabilidade da solução proposta. O ESP32 mostrou-se eficiente na aquisição e processamento dos dados provenientes do sensor de ruído, do módulo GPS e do módulo RTC. Durante os testes foram identificadas algumas limitações do protótipo, tais como a influência de ruídos ambientais,

a necessidade de calibração do sensor de ruído em diferentes condições adversas e o tempo de espera para que cada requisição HTTP fosse enviada para o serviço de nuvem.

CONCLUSÃO

O combate ao tráfico transnacional nas rotas fluviais da Amazônia é um desafio complexo e multifacetado que exige uma resposta abrangente e coordenada por parte das autoridades brasileiras. A combinação de ações de repressão, prevenção e investimento em tecnologia é fundamental para alcançar resultados eficazes e duradouros. A Internet das Coisas tem um enorme potencial para revolucionar a segurança pública. As soluções inovadoras proporcionadas pela IoT podem tornar cidades, comunidades e indivíduos mais seguros. O sensoriamento remoto em tempo real acústico é uma ferramenta inovadora com grande potencial para contribuir para a segurança pública.

A tecnologia oferece diversos benefícios, como a prevenção de crimes, a resposta rápida a eventos suspeitos e a segurança pública ampliada. No entanto, é importante que os desafios relacionados a falsos alarmes, privacidade, custo e regulamentação sejam superados para garantir o uso responsável e eficaz da tecnologia na segurança pública. A utilização do microcontrolador ESP32 se destaca como uma solução ideal e possível para o sensoriamento de ruído devido seu baixo custo e alta performance. Com recursos avançados de processamento e conectividade (Wi-Fi, Bluetooth e LoraWAN) o microcontrolador permite a criação de sistemas de monitoramento ambiental acessíveis, eficazes e inteligentes.

REFERÊNCIAS

ALI, Z. H.; ALI, H. A.; BADAWY, M. M. Internet of Things (IoT): Definitions, challenges and recent research directions. **International Journal of Computer Applications**, v. 128, n. 1, p. 37-47, 2015.

ANNAMALAH, S. *et al.* Socio-economic drivers of drug abuse and criminal activities: A multidimensional analysis. **Deviant Behavior**, p. 1-31, 2025. <https://doi.org/10.1080/01639625.2025.2569522>.

APARICIO, S. *et al.* Managing destructive entrepreneurship in place: formal and informal institutions for the achievement of regional economic growth: Aparicio *et al.* **Small Business Economics**, p. 1-24, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11187-025-01090-7>,

ARMITAGE, J. *et al.* **Affective priming with music**: Cognitive, psychoacoustic and cultural perspectives. 2024. Tese (Doutorado em Música). Durham University, Durham.

AZIZI, M. Q. *et al.* Revisiting Afghanistan's drug policy: A policy analysis of eradication, harm reduction, and economic dependencies. **Health Science Reports**, v. 8, n. 7, p. e71008, 2025. <https://doi.org/10.1002/hsr2.71008>.

BANCROFT, A. Why digital crime works. *In*: **The Darknet and smarter crime**: Methods for investigating criminal entrepreneurs and the illicit drug economy. Cham: Springer, 2019. p. 197-203. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26512-0_11.

COUTO, A. C. O. **Geopolítica do narcotráfico na Amazônia**. Curitiba: Appris, 2023.

CRUZ, N. Rios amazônicos são principais rotas para transporte de toneladas de drogas. **Revista Cenarium**, online, 2020. Disponível em <https://revistacenarium.com.br/rios-amazonicos-sao-principais-rotas-para-transporte-de-toneladas-de-drogas/>.

DOWLING, D. R.; SABRA, K. G. Acoustic remote sensing. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 47, n. 1, p. 221-243, 2015. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-010814-014747>.

DWIVEDI, A. K.; YADAV, A.; GAMAD, R. S. Breast cancer disease prediction using convolutional neural networks with ultrasound image dataset for healthcare-IOT application. *In*: **2025 4th OPJU International Technology Conference (OTCON) on Smart Computing for Innovation and Advancement in Industry 5.0**. IEEE, 2025. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/OTCON65728.2025.11070903>.

FERREIRA, M. A. Brazilian Amazon as locus of criminal non-state actors in South America. *In: Criminal non-state actors: Historical developments and impacts in South America*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025b. p. 135-163. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92509-2_7.

FERREIRA, M. A. Organized crime and hybrid governance of violence in the Brazilian Amazon. **Journal of Illicit Economies and Development**, v. 7, n. 1, 2025a. <https://doi.org/10.31389/jied.291>.

GOLONDRINO, G. E. C.; ALARCÓN, M. A. O.; SABA, M. Evaluation of the mathematical Simpson's method for asbestos-cement de-tection in hyperspectral images. **Prospectiva**, v. 23, n. 2, 2025. <https://doi.org/10.15665/rp.v23i2.3722>.

GOWDA, V. Dankan *et al.* AI-based solutions for future trends in IoT and remote sensing integration for precision agriculture. In: HABIB, M. K. (Ed.). **AI-Driven Smart Industrial Technologies**. Hershey: IGI Global, 2026. p. 19-44.

HAZMY, A. I. *et al.* Potential of satellite-airborne sensing technologies for agriculture 4.0 and climate-resilient: A review. **IEEE Sensors Journal**, v. 24, n. 4, p. 4161-4180, 2023. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3343428>.

ICEDO, O. L. V.; FELIPE, D.; RÍO-CORTINA, J. Scenarios of the fight against drug trafficking Colombia 2042: the role of new technologies. **Aglala**, v. 16, n. 1, p. 128-148, 2025.

MARONG, M. N.; TANIMU, I. U.; KANAGIE, A. The economics of drug trafficking on security in West Africa: An overview of the Gambia. **International Journal of Social Science Humanity & Management Research**, v. 4, n. 4, p. 769-778, 2025. <https://doi.org/10.58806/ijsshmr.2025v4i4n21>,

NASRIJAL, N. M. H.; JONI, E. K. E. The perils of drug trafficking: Endangering the Malay and Muslim society. *In: OMAR, R.; BAHROM, H.; MELLO, G. (Eds.). Islamic perspectives relating to business, arts, culture and communication: Proceedings of the 1st ICIBACC 2014*. Singapore: Springer, 2015. p. 199-207.

OKEUKWU, E. K. *et al.* Appraisal of Gully Erosion in Owerri South Eastern Nigeria Using Remote Sensing Data. **IIARD International Journal of Geography & Environmental Management**, v. 11, n. 3, p. 126-160, 2025. <https://doi.org/10.56201/ijgem.vol.11.no3.2025.pg126.160>.

ONU. **World drud report**. New York: United Nations, 2011.

PEREIRA, L.; PUCCI, R.; SOARES, R. R. **Landing on water:** Air interdiction, drug-trafficking displacement, and violence in the Brazilian Amazon. Bonn: Institute of Labor Economics, 2024.

PORKPAH, W. N.; SOY, A. The role of technology in enhancing and strengthening Liberia's drugs law enforcement agency: an empirical study. **Samvakti Journal of Research in Information Technology**, v. 6, n. 1, p. 96-118, 2025. <https://dx.doi.org/10.46402/sjrit.2025.31>.

RAMADAN, M. N. A. *et al.* AI-powered IoT and UAV systems for real-time detection and prevention of illegal logging. **Results in Engineering**, v. 24, p. 103277, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103277>.

ROSIANA, E. *et al.* Design a body mass index monitoring with telegram notifications based on IoT. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2025. p. 020003. <https://doi.org/10.1063/5.0243126>.

SATAPATHY, S.; MISHRA, D.; VARGAS, A. R. **Innovation in agriculture with IoT and AI**. Cham: Springer, 2022. p. 99-111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88828-2_7.

SOLTAN, V. Terrorism and human trafficking: A dark alliance of organized crime. **Acta U. Danubius Jur.**, v. 20, p. 41, 2024.

UDO, O.; AGBAI, E. Terrorism in Sub-Saharan Africa and the illegal financial inflows: The nexus. **Journal of Political Science and Leadership Research**, v. 10, n. 2, p. 18-36, 2024. <https://doi.org/10.56201/jpslr.v10.no2.2024.pg18.36>.

VALLÉS, G. M. **Development and validation of underwater radiated noise analysis method using**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Aalto University, Aalto.

*Renato Guimarães
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

SISTEMA PARA CONTROLE DE ACESSO FÍSICO BASEADO EM INTERNET DAS COISAS

SUMÁRIO

RESUMO:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle de acesso baseado em placas ESP32, utilizando o endereço MAC de smartphones para autenticação e o valor do sinal Bluetooth (RSSI) como critério de proximidade física. O sistema é composto por duas placas ESP32: uma com interface Wi-Fi, responsável pela comunicação com o banco de dados em nuvem (Firebase) e com o aplicativo móvel via protocolo MQTT; e outra com interface Bluetooth, encarregada de identificar a presença local do dispositivo e acionar uma fechadura eletrônica. Um aplicativo desenvolvido no MIT App Inventor permite cadastrar MAC, monitorar acessos e controlar permissões. O projeto envolveu diversas áreas do conhecimento, como desenvolvimento de hardware, programação de sistemas embarcados, comunicação sem fio, modelagem mecânica e impressão 3D da caixa de acomodação do sistema embarcado. Os testes realizados mostraram que o sistema operou com estabilidade, distinguindo corretamente dispositivos autorizados e não autorizados, e liberando o acesso apenas quando o sinal Bluetooth era suficientemente forte. A solução se destaca por ser prática, acessível e adaptável a diferentes cenários de internet das coisas (IoT), contribuindo com uma abordagem funcional e segura para controle de acessos.

Palavras-chave: Controle de acesso físico, Placas ESP32, Smartphones, Internet das coisas, Sinal bluetooth.

INTRODUÇÃO

A IoT tem promovido profundas transformações no desenvolvimento de produtos e serviços, ao permitir a interconexão de dispositivos físicos à internet com capacidade de operação autônoma e troca de dados em tempo real (Liberal, 2025; Dwivedi *et al.*, 2025; Tandon *et al.*, 2024; Kopeinig *et al.*, 2024). No contexto de soluções voltadas à segurança e controle de acesso, essa abordagem oferece novas possibilidades de automação, monitoramento remoto e tomada de decisão baseada em dados, substituindo sistemas tradicionais que dependem de interação física direta. Embora a IoT traga benefícios, como agilidade, escalabilidade e inteligência embarcada, impõe desafios relacionados à integração tecnológica, segurança da informação e adequação de infraestrutura (Liberal, 2025; Balci *et al.*, 2025; Chrifi-Alaoui *et al.*, 2025). Nesse sentido, a aplicação da IoT em sistemas de controle de acesso se apresenta como uma alternativa promissora e alinhada às demandas atuais por soluções conectadas, seguras e de fácil gerenciamento.

Esse cenário está em consonância com tendências recentes que apontam o crescimento do uso de soluções IoT na área de segurança digital (Soni *et al.*, 2024; Alshra'á *et al.*, 2024), com especial atenção à automação residencial (Dhaigude; Chanda, 2024; Siddhartha *et al.*, 2023), o que provavelmente levará à expansão global de aplicações IoT nos próximos anos (Choudhary *et al.*, 2026; Chugh *et al.*, 2025; Sharma *et al.*, 2025). A incorporação de tecnologias emergentes, como microcontroladores de baixo custo e alta capacidade, como o ESP32 (Boucif *et al.*, 2025; Sharma; Sharma, 2025), tem a capacidade de ampliar o alcance de sistemas embarcados e conectados (Goridkov; Goucher-Lambert, 2025; Sheikhi *et al.*, 2025), além de facilitar a integração com serviços em nuvem (Kanagamalliga *et al.*, 2024; Rizvi *et al.*, 2024) e protocolos leves como o MQTT (Guerrero-Osuna *et al.*, 2024; Pontarolli *et al.*, 2025).

Dentre os inúmeros campos de aplicação, destaca-se a área de segurança e controle de acesso, onde há crescente demanda por soluções mais eficientes, seguras e conectadas. Tradicionalmente, sistemas baseados em chaves físicas ou cartões RFID vinham sendo utilizados para o gerenciamento de entradas em ambientes públicos e privados (Saranghi *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2025). No entanto, tais abordagens apresentam limitações quanto à escalabilidade, rastreabilidade e segurança da informação, além da necessidade de infraestrutura local dedicada. Pesquisas apontam que soluções baseadas em conectividade sem fio superam essas limitações com maior flexibilidade e escalabilidade (Widharma *et al.*, 2023), além de apresentarem melhor desempenho em ambientes inteligentes e dinâmicos (Baldirova *et al.*, 2025).

Nesse cenário, a combinação de microcontroladores com conectividade, como o ESP32, com plataformas em nuvem, como o Firebase, protocolos de comunicação leves, como o MQTT, e interfaces móveis acessíveis desenvolvidas em ferramentas como o MIT App Inventor torna possível o desenvolvimento de sistemas de controle de acesso remotos, personalizáveis e com baixo custo de implementação. A literatura tem demonstrado que a integração entre essas tecnologias proporciona soluções mais adaptáveis e generalizáveis em tempo real (Gopalan *et al.*, 2025), além de potencializar o uso de dados para tomada de decisão automatizada (Andrade-Mogollon *et al.*, 2025).

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de controle de acesso físico baseado em IoT, utilizando dois módulos ESP32 que operam de forma integrada via comunicação serial, um responsável pela conectividade com a nuvem e outro pelo acionamento físico da fechadura. A autenticação é realizada por meio de um aplicativo Android, permitindo a validação de usuários em tempo real e o controle remoto do acesso. A proposta visa atender demandas de segurança em ambientes controlados, explorando

os recursos oferecidos pela computação em nuvem, automação e comunicação sem fio. Aplicações similares têm demonstrado a eficácia desse modelo em estudos de caso recentes na literatura técnica (Rodrigues, 2024), bem como em protótipos descritos por publicações acadêmicas e comerciais (Fernandez-Carames; Fraga-Lamas, 2024).

O controle de acesso a ambientes físicos, sejam eles em instituições públicas ou privadas, representa um desafio recorrente, sobretudo quando se busca garantir segurança e gestão eficiente de usuários autorizados. Tradicionalmente, tecnologias como cartões de identificação por radiofrequência (RFID) têm sido amplamente utilizadas nesse contexto. Apesar de seu potencial, os sistemas RFID convencionais ainda apresentam limitações significativas quando inseridos em ambientes que exigem integração com sistemas distribuídos, autenticação dinâmica e respostas em tempo real. Essas limitações incluem a dificuldade de gerenciamento remoto e vulnerabilidades relacionadas à clonagem ou compartilhamento não autorizado de identificadores físicos (Akbari, 2025; Sherif; Chris, 2025).

Diversos estudos acadêmicos têm proposto soluções para controle de acesso com base em microcontroladores e tecnologias embarcadas. Entre eles, destacam-se quatro estudos recentes que oferecem contribuições distintas na área. O trabalho de Rodrigues (2024) propõe a implementação de um sistema de controle e registro do acionamento de uma fechadura inteligente. A solução se destaca por sua ênfase na coleta e armazenamento de dados de acesso, permitindo rastrear o histórico de entradas e saídas. No entanto, não há detalhamento quanto ao uso de protocolos de comunicação assíncrona nem à autenticação remota via dispositivos móveis, o que limita sua escalabilidade e integração com sistemas em nuvem.

O estudo de Recla Junior e Cordeiro (2024) apresentou o CW Locker, sistema embarcado de baixo custo para controle eletrônico de fechaduras. A proposta se destaca pela viabilidade econômica, mas não contempla conectividade com serviços em nuvem ou autenticação remota. A pesquisa de Passoni (2024) desenvolveu um sistema voltado ao controle de acesso em um ambiente acadêmico específico, o laboratório de projetos produtivos. Embora o estudo evidencie a importância da segurança patrimonial e controle de fluxo de usuários não detalha o uso de conectividade Wi-Fi, banco de dados remoto ou autenticação móvel, características essenciais em soluções IoT modernas. Já o de Leite Filho *et al.* (2024) explorou a integração de RFID e Bluetooth em sistema baseado no ESP32. A proposta representa um avanço ao combinar dois métodos de autenticação locais, porém ainda sem o uso de serviços em nuvem ou protocolo MQTT. A Tabela 1 mostra e compara os principais aspectos desses estudos.

SUMÁRIO

Tabela 1 - Comparativo entre estudos relacionados

Estudos	Plataforma Embarcada	Integração com nuvem	Aplicativo Mobile
Rodrigues (2024)	ESP32	Não	Não
Cordeiro; Recla Junior (2024)	ESP8266 NodeMCU	Não	Não
Passoni (2024)	ESP32	Não	Não
Leite Filho <i>et al.</i> (2024)	ESP32	Não	Não
Trabalho Proposto (2025)	2x ESP32 (Wi-Fi + BT)	Sim (Firebase)	Sim (App Inventor)

Fonte: elaborado pelos autores.

Observa-se lacuna na integração simultânea de múltiplas tecnologias modernas de IoT. O trabalho aqui proposto busca preencher essa lacuna ao utilizar o EP32, comunicação Wi-Fi, Bluetooth, conectividade em nuvem via Firebase, troca de mensagens assíncronas por MQTT e desenvolvimento de um aplicativo Android via MIT App Inventor, proporcionando uma solução mais completa, escalável

e acessível. Neste sentido, este estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de controle de acesso físico baseado em tecnologias da IoT, combinando ESP32, Firebase, MQTT, Bluetooth e um aplicativo móvel desenvolvido no MIT App Inventor para autenticação remota de usuários por meio de *smartphones*, com validação em tempo real via nuvem e acionamento local de uma fechadura elétrica. De forma específica, projetou-se o sistema embarcado, incluindo o esquemático elétrico, o layout da placa de circuito impresso (PCI) e sua confecção; desenvolveu-se o firmware do sistema embarcado, com foco na comunicação entre os dispositivos ESP32, o Firebase e o protocolo MQTT; desenvolveu-se o aplicativo móvel para gerenciamento de acessos e interação com o sistema; elaborou-se a estrutura mecânica (caixa) para acomodação e proteção do hardware; e testou-se e validou-se o sistema em um ambiente controlado.

METODOLOGIA

Os procedimentos adotados no desenvolvimento do sistema proposto, abordando os recursos técnicos, os componentes utilizados e a lógica de funcionamento da solução de controle de acesso baseada em Internet das Coisas (IoT) estão aqui especificados. A estrutura metodológica foi organizada em seis seções, cada uma abordando um aspecto fundamental da construção do projeto. A primeira apresenta uma visão ampla da organização do sistema, identificando os elementos que o compõem, suas funções e o fluxo de dados entre eles. A segunda detalha o processo de montagem do protótipo físico, incluindo os componentes eletrônicos empregados e a disposição dos elementos no ambiente de testes. A terceira explora o funcionamento do módulo responsável por identificar a presença do dispositivo do usuário por meio da tecnologia *Bluetooth*, com base na leitura do endereço MAC. A quarta descreve a lógica

implementada nas placas ESP32, destacando a comunicação entre elas, o processamento das informações recebidas e as ações resultantes. A quinta explica como são gerenciadas as credenciais de acesso por meio da integração com o banco de dados Firebase, além da troca de mensagens com o aplicativo móvel via protocolo MQTT. A sexta apresenta o aplicativo desenvolvido como interface do sistema, demonstrando como o usuário interage com as funcionalidades disponíveis.

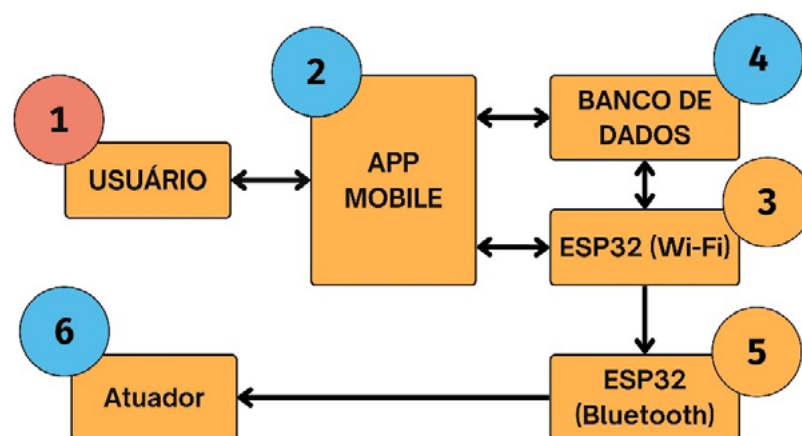
DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA DO PROJETO

O sistema é composto por duas placas ESP32, sendo uma responsável pela comunicação com o banco de dados e o aplicativo móvel via Wi-Fi e a outra pela detecção da presença física do dispositivo do usuário via Bluetooth. Utilizou-se o banco de dados no Firebase para armazenamento das credenciais e um servidor MQTT para troca de mensagens entre uma das placas ESP32 e o aplicativo móvel. Essa arquitetura visa oferecer uma solução eficiente, segura e escalável de controle de acesso baseada em tecnologias da Internet das Coisas (IoT). A Figura 1 ilustra a arquitetura geral do sistema, composta por seis elementos principais: o usuário, o aplicativo móvel, o banco de dados, os dois ESP32 (com Wi-Fi e com Bluetooth) e o atuador responsável pela liberação do acesso.

O fluxo de funcionamento é iniciado quando o usuário (1) acessa o aplicativo móvel (2) e insere manualmente o endereço MAC do seu smartphone e o envia para o sistema através do protocolo MQTT. O ESP32 com Wi-Fi (3) recebe esse endereço o MAC via MQTT e, em seguida, realiza uma consulta ao banco de dados Firebase (4), caso o endereço MAC esteja registrado e autorizado, o Firebase retorna uma resposta positiva ao ESP32 com Wi-Fi. Com base nessa autorização, o ESP32 com Wi-Fi envia uma nova mensagem MQTT ao aplicativo móvel. Ao receber essa mensagem,

o aplicativo solicita autorização do usuário para a ativação da visibilidade do dispositivo, tornando-o detectável via Bluetooth. Neste momento, o ESP32 com Wi-Fi envia um sinal pela interface Serial ao ESP32 com Bluetooth (5), autorizando o início da varredura de dispositivos Bluetooth próximos. O ESP32 com Bluetooth verifica se o dispositivo do usuário está presente no ambiente com base no endereço MAC previamente autorizado. Se o dispositivo for detectado, a autenticação é concluída com sucesso. Por fim, o ESP32 com Bluetooth aciona o atuador (6), um relé, concedendo o acesso físico ao usuário.

Figura 1 - Arquitetura do projeto



Fonte: elaborado pelos autores.

Essa divisão de responsabilidades torna o sistema mais organizado e robusto: o ESP32 com Wi-Fi realiza as validações lógicas e gerencia a comunicação em nuvem, enquanto o ESP32 com Bluetooth é responsável pela autenticação física e acionamento do mecanismo de liberação. A comunicação entre os dois microcontroladores ocorre por meio da interface Serial, garantindo a integração eficiente entre as etapas de verificação e execução.

DESCRIÇÃO DA PROTOTIPAGEM DO PROJETO

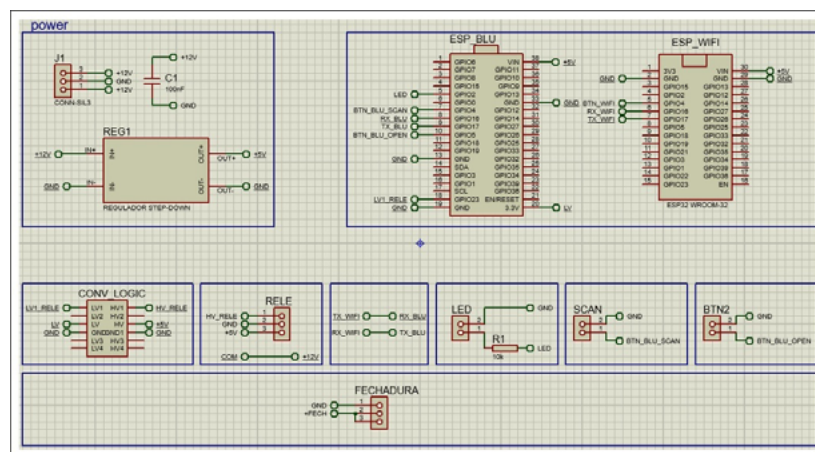
A prototipagem do projeto envolveu tanto a montagem física do sistema quanto o uso de ferramentas digitais para auxiliar no desenvolvimento. Foram utilizados softwares para o desenho do circuito eletrônico e a criação do *layout* da PCB, além de recursos de modelagem e impressão 3D para a confecção de uma caixa protetora que acomoda os componentes do hardware. Esse processo integrou conhecimentos das áreas de eletrônica, modelagem mecânica e manufatura digital, resultando em um protótipo funcional e alinhado com os requisitos práticos e visuais do sistema proposto.

Circuito eletrônico

Durante o desenvolvimento, o circuito foi inicialmente montado em uma *proto-board* para facilitar ajustes e testes. Foram utilizados módulos auxiliares para garantir estabilidade na alimentação e segurança nas comunicações entre os elementos do sistema. Os principais componentes utilizados foram o ESP32 (x2), placa dedicada à comunicação Wi-Fi (integração com Firebase e aplicativo via MQTT) e outra à detecção via Bluetooth (varredura de dispositivos e acionamento do relé); o módulo Relé 5V, que atua como interruptor eletrônico acionado pelo ESP32 Bluetooth, permitindo controlar o circuito da fechadura com isolamento entre os sistemas de controle e carga; fonte 12V, para alimentar todo o circuito com tensão estável; módulo regulador de tensão LM2596 (step-down), para converter a tensão de 12V da fonte para níveis adequados aos componentes do sistema, principalmente aos módulos ESP32; conversor de nível lógico 3,3–5V Bidirecional 4 Canais, para adaptar os sinais de 3,3V do ESP32 para os 5V exigidos pelo relé, garantindo compatibilidade entre os dispositivos; LED, usado como indicador visual do estado do sistema (por exemplo, status de liberação); botões *push button* (x2), um para a liberação manual da fechadura e outro para iniciar a

varredura de endereços MAC via Bluetooth; e protoboard e jumpers, para montagem física do circuito durante a fase de testes, permitindo fácil conexão e organização dos componentes. Na montagem do circuito, utilizou-se o software Proteus, versão 8.16 SP3, tanto para o desenvolvimento do diagrama eletrônico quanto para a elaboração do layout da placa de circuito impresso (PCI).

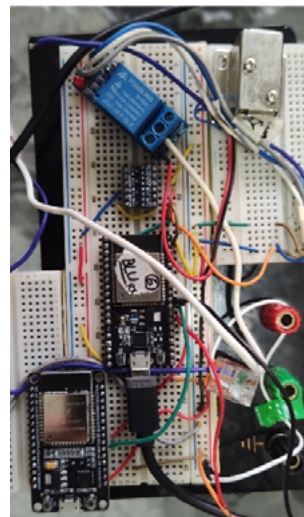
Figura 2 - Circuito eletrônico elaborado no software Proteus



Fonte: elaborado pelos autores.

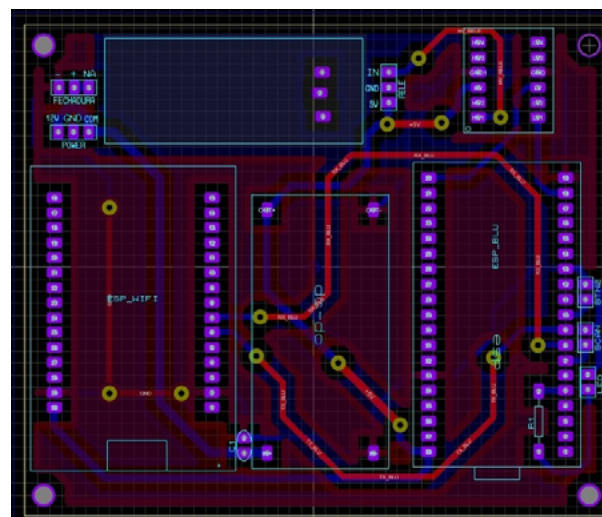
A Figura 2 ilustra o esquema eletrônico do sistema, criado com base nos componentes listados anteriormente. A partir desse diagrama, foi possível montar uma versão inicial do circuito em protoboard, com o objetivo de realizar os primeiros testes de funcionamento integrados à programação dos periféricos. A Figura 3 apresenta essa montagem física preliminar. Com a conclusão da montagem e dos testes do circuito eletrônico, a etapa seguinte consistiu na elaboração do layout da placa de circuito impresso (PCI) em dupla face. Para isso, foram utilizados os recursos disponíveis na ferramenta ARES, integrante do software Proteus. A Figura 4 apresenta o layout final desenvolvido para a implementação do circuito.

Figura 3 – Montagem prévia do circuito eletrônico do sistema



Fonte: fotografias capturadas pelos autores.

Figura 4 - Layout final da Placa de Circuito Impresso



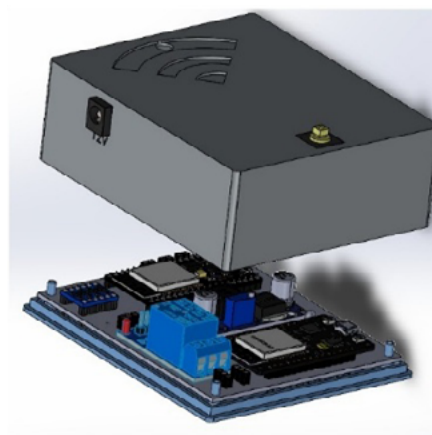
Fonte: fotografias capturadas pelos autores.

Encapsulamento mecânico do sistema

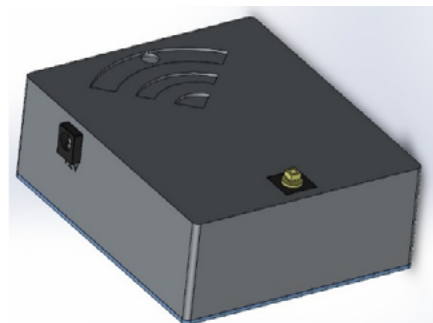
Com o objetivo de proteger os componentes eletrônicos e garantir uma montagem organizada e funcional do protótipo, foi desenvolvido um encapsulamento mecânico para alocação do circuito eletrônico. A estrutura foi modelada em 3D utilizando o software SolidWorks 2020. A Figura 5 mostra o desenho da caixa em 3D fechada e a Figura 6 apresenta a caixa aberta com os componentes eletrônicos à mostra. Após a modelagem, o desenho foi exportado para o formato STL e processado no software UltiMaker Cura 5.8.1, que realizou o fatiamento e a preparação da peça para impressão 3D. Foi utilizada a impressora 3D Creality, modelo Ender-3, cor preta, compatível com as tensões elétrica de 127/220V. A impressora utilizou tecnologia de manufatura aditiva FDM (Fused Deposition Modeling), permitindo a impressão de peças com precisão dimensional e resistência mecânica. A Figura 7 mostra a impressora utilizada na confecção da caixa.

SUMÁRIO

Fig. 5 - Desenho da caixa 3D fechada



Fonte: elaborado e fotografia capturada pelos autores.

Fig. 6 - Desenho da caixa 3D aberta

Fonte: elaborado e fotografia capturada pelos autores.

Fig. 7 - Impressora 3D Creality Ender-3

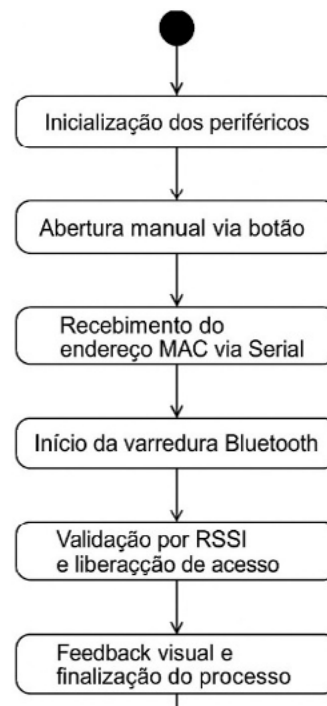
Fonte: elaborado e fotografia capturada pelos autores.

O encapsulamento foi produzido em material PLA, oferecendo resistência mecânica suficiente para os testes em bancada. A caixa impressa permitiu acomodar todos os elementos do circuito de forma segura, facilitando o manuseio do sistema e contribuindo para a apresentação do protótipo em um formato mais próximo de um produto final.

Sistema de Sensoriamento

O sistema de sensoriamento é implementado em uma das duas placas ESP32, configurada com interface Bluetooth. Essa unidade é responsável pela identificação da presença de um dispositivo previamente autorizado nas proximidades do sistema. Para isso, o ESP32 recebe, por meio da comunicação serial, o endereço físico (MAC address) do dispositivo que deve ser localizado. Com esse dado em mãos, a placa inicia uma varredura no ambiente em busca de dispositivos Bluetooth ativos. Ao identificar um dispositivo cujo endereço MAC corresponda ao valor recebido, e cuja intensidade de sinal (RSSI) esteja acima do limite estabelecido, o sistema reconhece que o dispositivo está fisicamente próximo e, então, aciona o relé responsável pela liberação do acesso.

Figura 8 - Sistema de sensoriamento



Fonte: elaborado pelos autores.

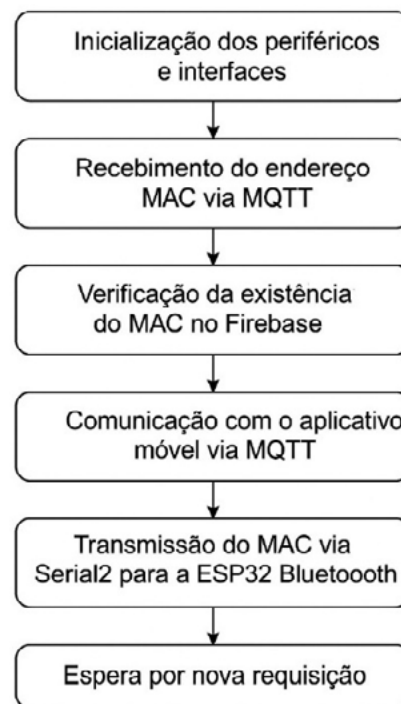
O funcionamento do sistema é descrito em blocos, conforme a lógica embarcada no firmware, como mostra a Figura 8, com os seguintes aspectos: a) inicialização dos periféricos: o ESP32 configura os pinos conectados aos periféricos (botões, LED e relé), inicializa a comunicação serial padrão e a Serial2, e define o estado inicial do relé como desligado; b) abertura manual via botão: quando o botão de abertura manual (pino 5) é pressionado, o sistema aciona o relé por três segundos, permitindo a abertura da fechadura; c) recebimento do endereço MAC via Serial: o ESP32 aguarda uma *string* com o endereço MAC, enviada pela outra ESP32 via Serial2; d) início da varredura Bluetooth: iniciada ao pressionar o botão de varredura (pino 4), o ESP32 ativa o Bluetooth e escaneia dispositivos próximos por cinco segundos, buscando o endereço MAC que corresponda ao MAC recebido; e) validação por RSSI e liberação de acesso: caso o dispositivo seja encontrado com intensidade de sinal superior a -60 dBm (indicando proximidade física), o sistema considera o dispositivo autorizado, o relé é acionado e o LED sinaliza a liberação; e f) feedback visual e finalização do processo: se nenhum dispositivo autorizado for encontrado, o LED pisca três vezes para indicar a falha na autenticação. Independentemente do resultado, o Bluetooth é desligado e o sistema volta ao estado de espera.

Sistema de processamento

A ESP32 configurada com interface Wi-Fi é responsável pelas etapas centrais de validação e controle lógico do sistema. Essa unidade atua como intermediária entre o aplicativo móvel, o banco de dados em nuvem (Firebase) e o módulo de sensoramento Bluetooth. Sua principal função é gerenciar a autorização de dispositivos que desejam obter acesso ao sistema. A interação com o sistema se inicia no aplicativo móvel, onde o usuário insere o endereço MAC do seu dispositivo. Esse dado é enviado à ESP32 via protocolo MQTT. Ao receber o endereço MAC, a ESP32 Wi-Fi

consulta o banco de dados Firebase para verificar se o dispositivo está previamente autorizado. Caso o MAC esteja cadastrado, a placa envia uma confirmação ao aplicativo, instruindo o usuário a aproximar fisicamente o dispositivo do sistema para autenticação por proximidade. O funcionamento do sistema de processamento é descrito em blocos, conforme a lógica embarcada no firmware. A lógica é a seguinte: a) inicialização dos periféricos e interfaces: a ESP32 inicializa os pinos utilizados, configura a conexão com a rede Wi-Fi, estabelece vínculo com o banco Firebase e se conecta ao broker MQTT (também define os callbacks responsáveis por tratar as mensagens recebidas); b) recebimento do endereço MAC via MQTT: o usuário insere o endereço MAC no aplicativo, que o envia para a ESP32 Wi-Fi por meio de um tópico MQTT específico: a placa permanece escutando esse tópico e, ao receber a mensagem, armazena o MAC em uma variável para processamento; c) verificação da existência do MAC no Firebase: a placa realiza uma consulta no Firebase utilizando o endereço MAC como chave de busca (se o MAC estiver presente no banco, o sistema considera o dispositivo autorizado); d) comunicação com o aplicativo móvel via MQTT: após a verificação, a ESP32 envia feedback ao aplicativo: se o MAC for autorizado, a mensagem solicita que o usuário se aproxime do sistema para dar continuidade à autenticação via Bluetooth, caso contrário, informa que o dispositivo não está cadastrado ou não possui permissão; e) transmissão do MAC via Serial2 para a ESP32 Bluetooth: caso o MAC seja válido, a ESP32 envia esse dado via interface Serial2 para a outra ESP32, que será responsável por detectar fisicamente o dispositivo com base em varredura Bluetooth; f) espera por nova requisição: com a finalização do ciclo, a ESP32 Wi-Fi retorna ao estado de escuta passiva, aguardando novos endereços MAC e mantendo as conexões com MQTT e Firebase ativas para novas interações. A figura 9 mostra o sistema de processamento da tecnologia.

SUMÁRIO

Figura 9 - Sistema de processamento

Fonte: elaborado pelos autores.

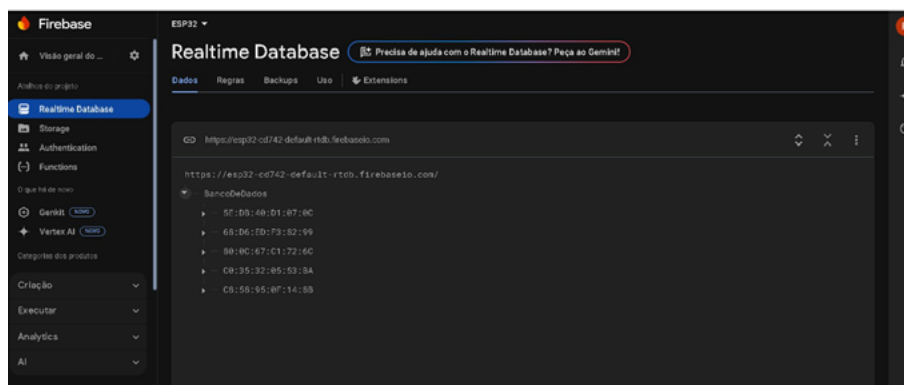
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E COMUNICAÇÃO

Para o armazenamento das informações dos usuários, utilizou-se o *Firebase*, que é uma plataforma desenvolvida pela Google. Essa plataforma tem se destacado muito entre os desenvolvedores que optam por uma plataforma com muitos benefícios, serviços e ampla. O *Firebase* oferece duas opções principais de banco de dados: o *Realtime Database* e o *Cloud Firestore*. Neste trabalho foi utilizado o *Realtime Database* por ser um banco de dados em tempo real, ou seja, sincroniza dados entre seus clientes em tempo real.

VISUALIZAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DE DADOS

A visualização é realizada por meio de um aplicativo móvel desenvolvido com o MIT App Inventor, uma plataforma de programação visual baseada em blocos. O aplicativo atua como a interface principal entre o usuário e a ESP32 com interface Wi-Fi, permitindo o envio de dados, o monitoramento de permissões e a consulta de registros de acesso. O aplicativo é dividido em quatro telas principais, cada uma com funcionalidades específicas.

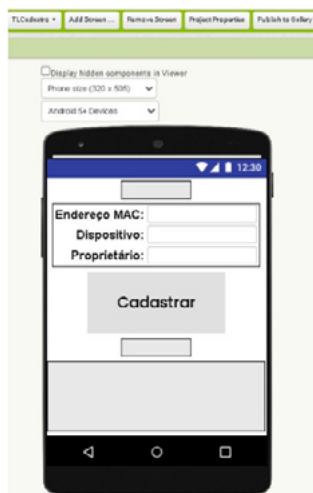
Figura 10 - Firebase (Realtime Database)



Fonte: elaborado pelos autores.

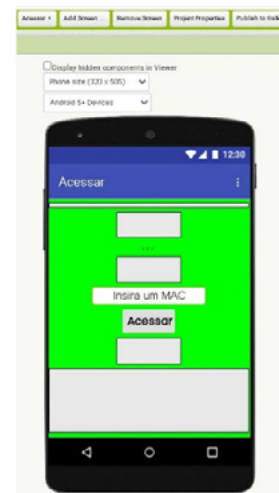
- *Tela de Cadastro:* essa tela permite que o usuário insira um novo endereço MAC no sistema, que será posteriormente armazenado no banco de dados Firebase. O campo de entrada aceita o endereço físico do dispositivo em formato padrão (por exemplo, A4:34:F1:22:89:C3). A figura 11 mostra a tela de cadastro

Fig. 11 - Tela de cadastro



Fonte: elaborado pelos autores.

Fig. 12 - Tela acessar



Fonte: elaborado pelos autores.

Fig. 13 - Tela de registros



Fonte: elaborado pelos autores.

Fig. 14 - Tela de permissões



Fonte: elaborado pelos autores.

- *Tela Acessar*: aqui, o usuário insere o endereço MAC do dispositivo que deseja autenticar. Ao clicar no botão “Acessar”, o aplicativo envia esse MAC para a ESP32 via MQTT, como mostra a figura 12.
- *Tela Registros*: essa interface permite ao usuário visualizar os registros de acessos realizados. Os dados são extraídos do Firebase e exibem o histórico de entradas, com data e hora associadas ao respectivo MAC que realizou o acesso, como mostra a figura 13.
- *Tela de Permissões*: essa tela é destinada ao uso do administrador do sistema. Ao abri-la, é apresentada uma lista com todos os MAC registrados, como mostra a figura 14.

O administrador pode selecionar um ou mais endereços da lista e, a partir disso, utilizar dois botões principais: “Permitir Acesso”, o(s) MAC(s) selecionado(s) passam a ter permissão de autenticação no sistema e essa informação é atualizada no Firebase; e “Negar Acesso”, que atualiza o banco Firebase indicando que o(s) MAC(s) selecionado(s) não possuem autorização, o que significa que, mesmo que o dispositivo esteja fisicamente próximo e visível via Bluetooth, a tentativa de autenticação será bloqueada e o acesso, negado.

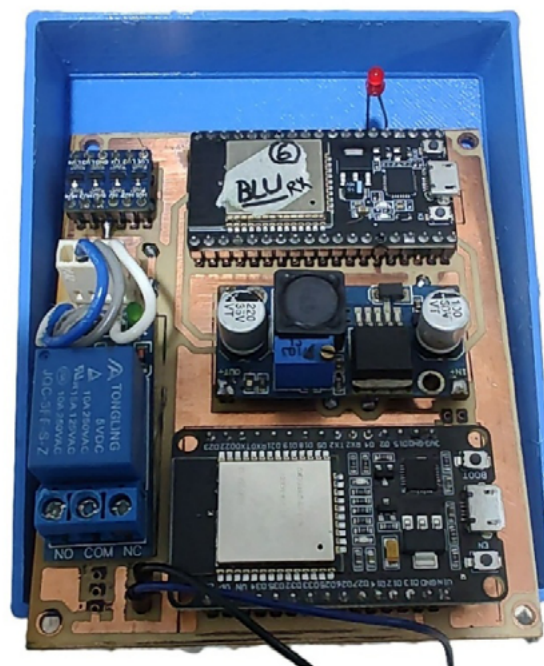
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados demonstraram a eficácia da solução no controle de acesso via autenticação por Bluetooth, com base na autorização remota por aplicativo móvel e banco de dados em nuvem. Aqui serão apresentados os resultados relativos à descrição do experimento realizado, a apresentação dos resultados numéricos e gráficos, e a análise crítica dos dados coletados.

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO REALIZADO

O experimento consistia na seguinte sequência: a) o usuário inseria o endereço MAC no aplicativo móvel, na tela de acesso; b) a ESP32 Wi-Fi recebia esse dado via MQTT, validava no Firebase e, se o MAC estivesse autorizado, solicitava a aproximação física do dispositivo; c) o usuário aproximava o smartphone da caixa contendo o módulo Bluetooth, simulando a entrada em uma residência; e d) o sistema realizava a varredura, validava o sinal (RSSI), e, se o dispositivo fosse detectado com intensidade adequada, o relé era acionado por três segundos.

Fig. 15 - Unidade física embarcada com ESP32 e periféricos



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 15, é possível identificar os principais componentes do sistema embarcado: a) ESP32 com Bluetooth rotulada como "BLU RX", b) ESP32 com interface Wi-Fi (parte inferior), c) módulo relé de 1 canal (canto inferior esquerdo), d) regulador step-down, e) LED de sinalização no topo da caixa e f) conversor de nível lógico (canto superior esquerdo). Durante os testes foram utilizados diferentes dispositivos móveis com endereços MAC distintos, dos quais apenas alguns estavam previamente cadastrados e autorizados no banco de dados.

RESULTADOS NUMÉRICOS E GRÁFICOS

Foram coletados dados ao longo de algumas tentativas de acesso. Os testes contemplaram tanto dispositivos previamente autorizados quanto não autorizados, buscando verificar a taxa de autenticação bem-sucedida e a precisão da filtragem via RSSI. Durante o experimento foram realizadas pelo menos 20 tentativas de acesso, sendo 10 com dispositivos autorizados no banco de dados Firebase e 10 com dispositivos não autorizados. O resultado das tentativas está organizado na Tabela 2. Para as tentativas com MACs autorizados, o sistema realizou a varredura Bluetooth e considerou como critério de validação a intensidade mínima de sinal (RSSI) de -60 dBm. Apenas os dispositivos detectados com sinal superior a esse limite tiveram o relé relacionado.

Tabela 2 - Resumo das tentativas de acesso realizadas

Tipo de Dispositivo	Total de Tentativas	Resultado Esperado
Autorizado (MAC cadastrado)	10	Acesso concedido
Não autorizado (MAC não cadastrado)	10	Acesso negado

Fonte: dados coletados pelos autores.

O tempo médio entre o envio do MAC pelo aplicativo e a ativação do relé foi estimado em aproximadamente 10 segundos. Esse tempo compreende: recebimento do MAC via MQTT; envio do MAC via Serial2 para o módulo Bluetooth; realização da varredura Bluetooth e validação por RSSI; e ativação do relé por três segundos. Esse tempo apresentou variações mínimas entre as tentativas, indicando adequada estabilidade na comunicação entre os módulos e satisfatória integração com a infraestrutura em nuvem.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os testes realizados permitiram validar na prática a coerência entre a arquitetura proposta e os resultados obtidos. Com relação ao projeto do sistema embarcado, incluindo o esquemático elétrico, o layout da placa de circuito impresso (PCI) e sua confecção, sua concepção partiu da separação lógica e física entre os módulos de comunicação ESP32 com Wi-Fi, responsável pelas interações com a nuvem (Firebase) e com o aplicativo móvel, e ESP32 com interface Bluetooth, encarregado da varredura local de dispositivos e acionamento da carga (relé). O esquemático elétrico foi elaborado considerando os periféricos essenciais: relé de um canal, conversor de nível lógico para comunicação Serial2, LED de sinalização e regulador step-down de tensão. O layout da PCI foi desenvolvido para otimizar o uso do espaço e permitir integração eficiente com a estrutura mecânica. A montagem física demonstrou robustez e funcionamento estável em todos os testes, como mostram os resultados contidos na tabela 3.

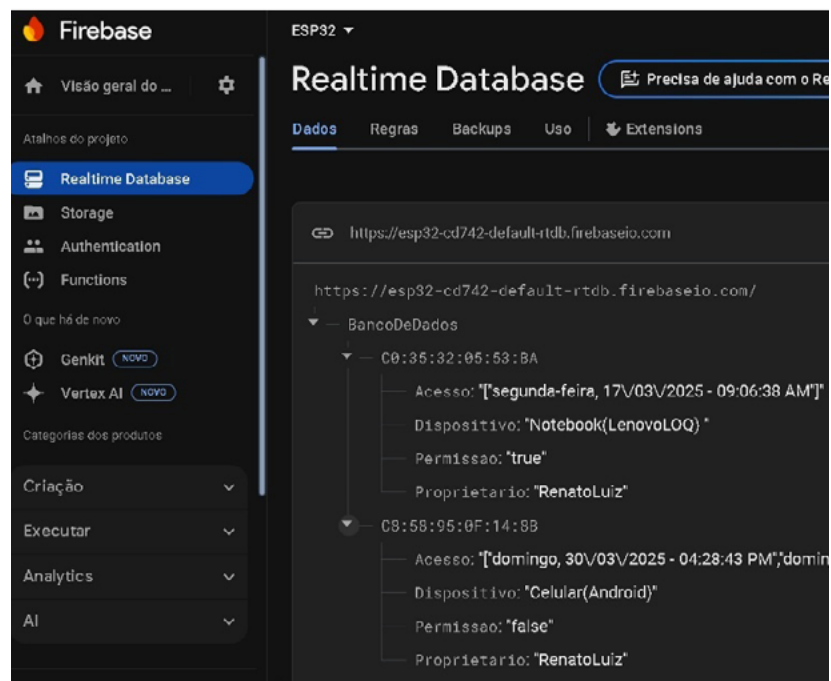
Tabela 3 - Resultados com dispositivos autorizados

Dispositivo	RSSI (dBm)	Autenticação
Smartphone A	-38	Sucesso
Smartphone A	-41	Sucesso
Smartphone A	-47	Sucesso
Smartphone A	-56	Sucesso
Smartphone A	-58	Sucesso
Smartphone A	-59	Sucesso
Smartphone A	-61	Rejeitado (RSSI fraco)
Smartphone A	-62	Rejeitado (RSSI fraco)
Smartphone A	-63	Rejeitado (RSSI fraco)
Smartphone A	-64	Rejeitado (RSSI fraco)

Fonte: dados coletados pelos autores.

Os resultados relativos ao desenvolvimento do firmware do sistema embarcado, com foco na comunicação entre os dispositivos ESP32, o Firebase e o protocolo MQTT mostraram que, os testes, o firmware embarcado demonstrou comportamento determinístico e estável. A ESP32 com interface Wi-Fi recebeu corretamente os endereços MAC via protocolo MQTT, consultou o banco Firebase e encaminhou as instruções via Serial2 ao ESP32 Bluetooth. A comunicação bidirecional entre os módulos ocorreu em tempo médio de 10 segundos entre o envio do MAC pelo aplicativo e a liberação da fechadura. A lógica de filtragem via RSSI foi aplicada corretamente, com base no limiar de -60 dBm, assegurando que apenas dispositivos próximos e previamente autorizados pudessem acionar o relé. A arquitetura de firmware modular, com bibliotecas específicas para Wi-Fi, MQTT, Firebase e Bluetooth, contribuiu para a estabilidade e organização do código. A figura 16 mostra um exemplo de visualização dos MAC cadastrados.

Figura 16 - Visualização dos MACs cadastrados no Firebase



Fonte: dados coletados pelos autores.

O desenvolvimento do aplicativo móvel para gerenciamento de acessos e interação com o sistema foi estruturado em quatro telas principais: Cadastro, Acessar, Registros e Permissões. O fluxo de interação se mostrou funcional e intuitivo, o envio de comandos via MQTT foi executado com sucesso e os feedbacks gerados pelo sistema (como solicitações de aproximação física ou notificações de erro) foram corretamente exibidos. A interface permitiu gerenciar os dispositivos autorizados e visualizar tentativas de acesso, atendendo plenamente aos requisitos de usabilidade e funcionalidade.

O desenvolvimento da estrutura mecânica (caixa) para acomodação e proteção do hardware foi projetada para proteger os

componentes eletrônicos, garantir ventilação adequada e facilitar a manutenção. A caixa comportou os dois módulos ESP32, o regulador de tensão, o relé, o conversor de nível lógico e os indicadores visuais. Os componentes foram dispostos de forma organizada, garantindo integridade mecânica e acesso facilitado aos terminais de entrada e saída. O botão de acionamento manual e o LED de status foram posicionados de maneira acessível, contribuindo para a usabilidade em campo.

Os testes e validação do sistema em ambiente controlado foram realizadas em 20 tentativas de autenticação, 10 com dispositivos previamente autorizados e 10 com dispositivos não autorizados. O sistema rejeitou 100% dos MAC não cadastrados, sem ocorrência de falsos positivos. Entre os dispositivos autorizados, a autenticação foi concedida em seis casos (com RSSI dentro do limite) e corretamente rejeitada em quatro (com RSSI inferior a -60 dBm), demonstrando a efetividade da dupla verificação (por cadastro em nuvem e por proximidade física). A taxa de resposta e estabilidade da comunicação entre os módulos reforçam a robustez do sistema proposto. Apesar da eficácia demonstrada nos testes, em alguns casos, mesmo com o dispositivo em distância reduzida, houve rejeição devido à flutuação do sinal. Ainda assim, os testes validaram com sucesso todos os objetivos definidos, viabilizando a arquitetura proposta para sistemas de controle de acesso baseados em identificação por MAC e validação por proximidade.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de controle de acesso baseado em autenticação por endereço MAC e validação da proximidade física via intensidade de sinal (RSSI),

combinando tecnologias embarcadas, comunicação sem fio e integração com serviços em nuvem. A abordagem proposta envolveu o projeto completo da solução: desde a concepção do hardware e desenvolvimento do firmware, até a construção da interface móvel e a realização de testes práticos em ambiente controlado.

Todos os objetivos específicos estabelecidos foram alcançados. O sistema embarcado foi projetado com base em um esquemático elétrico funcional e layout de PCB devidamente implementado. O firmware proporcionou comunicação confiável entre os módulos ESP32 via Serial2, com integração eficiente ao Firebase e ao protocolo MQTT. O aplicativo móvel permitiu o gerenciamento remoto de acessos de forma intuitiva, enquanto a estrutura mecânica construída garantiu a organização e proteção dos componentes durante os testes. Os experimentos validaram o funcionamento do sistema, que se comportou conforme o esperado diante de diferentes cenários de autorização e intensidade de sinal. A principal contribuição deste trabalho é a demonstração empírica da viabilidade de sistemas de autenticação baseados em critérios de proximidade física utilizando componentes acessíveis e tecnologias amplamente difundidas no ecossistema da IoT. O projeto reforça a importância do design modular em sistemas embarcados e oferece exemplo funcional de integração de hardware, software embarcado, serviços em nuvem e interface móvel, que é uma configuração cada vez mais presente em soluções inteligentes residenciais e comerciais.

AGRADECIMENTOS

Parte dos resultados apresentados neste trabalho foram obtidos através do Projeto Aranouá, apoiado pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., sob os auspícios da Lei Federal nº 8.387/1991

REFERÊNCIAS

- AKBARI, A. The application of radio-frequency identification (RFID) Technology in the petroleum engineering industry: Mixed review. **Petroleum Research**. In Press, Corrected Proof, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2025.05.001>.
- ALSHRAA, A. S.; AL SARDY, L.; GERMAN, R. Penetration testing in agile cybersecurity environments. *In: ZAYDI, M. et al. (Eds.) Agile security in the digital era*. Boca Raton: CRC Press, 2024, p. 126-161.
- ANDRADE-MOGOLLON, T.; GAMBOA-CRUZADO, J.; AMAYO-GAMBOA, F. Systematic literature review of generative AI and IoT as key technologies for precision agriculture. **Computación y Sistemas**, v. 29, n. 2, p. 857-882, 2025. <https://doi.org/10.13053/CyS-29-2-5738>.
- BADIROVA, A. *et al.* A survey on identity and access management for cross-domain dynamic users: issues, solutions, and challenges. **IEEE Access**, v. 11, p. 61660-61679, 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3279492>.
- BALCI, O. *et al.* Harnessing emerging technologies for green sustainability: Innovations, challenges, and future pathways. *In: SINGH, R.; FILHO, W.L. (Eds.) Climate neutrality through smart eco-innovation and environmental sustainability*. Cham: Springer, 2025, p; 209-225. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83250-5_13.
- BERNARDINO, S.; BARROS, L. D. J. R. Firebase e uso nas aplicações Android e iOS. **Revista Interface Tecnológica**, v. 21, n. 1, p. 279-287, 2024. <https://doi.org/10.31510/infav.21i1.1978>.
- BOUCIF, O. H. *et al.* Artificial intelligence of things for solar energy monitoring and control. **Applied Sciences**, v. 15, n. 11, p. 6019, 2025. <https://doi.org/10.3390/app15116019>.
- CHOUDHARY, V.; PURI, S.; SHARMA, A. Introduction to edge computing and IoT. *In: Gupta, G. P. et al. (eds.) Edge intelligence and analytics for internet of things*. Boca Raton: CRC Press, 2026, p. 13-34.
- CHRIFI-ALAOUI, C. *et al.* Industry 5.0 for sustainable supply chains: A fuzzy AHP approach for evaluating the adoption barriers. **Procedia Computer Science**, v. 253, p. 2645-2654, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.324>.
- CHUGH, B. *et al.* IoT Integration in health sciences. **Blockchain in Health Sciences**, p. 29-48, 2025. <https://doi.org/10.1002/9781394336043.ch2>.

DHAIGUDE, R.; CHANDA, R. Consumer awareness and willingness toward smart home automation. *In*: FONG, S.; DEY, N.; JOSHI, A. (Eds) **International Conference on ICT for Sustainable Development**. Singapore: Springer Nature, 2024, p. 211-221. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8605-3_20.

DWIVEDI, A. K.; YADAV, A.; GAMAD, R. S. Breast cancer disease prediction using convolutional neural networks with ultrasound image dataset for healthcare-IoT application. *In*: **2025 4th OPIU International Technology Conference (OTCON) on Smart Computing for Innovation and Advancement in Industry 5.0**. IEEE 2025, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/OTCON65728.2025.11070903>.

FERNANDEZ-CARAMES, T. M.; FRAGA-LAMAS, P. A review on the use of blockchain for the internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 11, n. 1, p. 412-432, 2024. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2842685>.

GOPALAN, S. R.; JEGAN, B.; GOVINDARAJAN, T. S. Wireless control system for laser cutters and engraving machines. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 134, n. 5, p. 2269-2289, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14249-5>.

GORIDKOV, N.; GOUCHER-LAMBERT, K. Harnessing digital vs physical design for sustainable behavior strategies: A review. **Proceedings of the Design Society**, v. 5, p. 1973-1982, 2025. <https://doi.org/10.1017/pds.2025.10211>.

GUERRERO-OSUNA, H. A. *et al.* Developing a cloud and IoT-integrated remote laboratory to enhance education 4.0: an approach for FPGA-based motor control. **Applied Sciences**, v. 14, n. 22, p. 10115, 2024. <https://doi.org/10.3390/app142210115>.

KANAGAMALLIGA, S.; YOGALAKSHMI, P.; RAMYHA, E. Optimizing real-time product recognition and payment automation in IoT-enabled smart shopping carts. *In*: **2024 International Conference on Communication, Computing, Smart Materials and Devices (ICCCSMD)**. IEEE, 2024, p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICCCSMD63546.2024.11015152>.

KOPEINIG, J.; WOSCHANK, M.; OLIPP, N. Industry 4.0 technologies and their implications for environmental sustainability in the manufacturing industry. **Procedia Computer Science**, v. 232, p. 2777-2789, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.095>.

LEITE FILHO, L. G.; SANTOS, P. C.; DOZZA, V. S. Sistema de controle de acesso integrado: utilização de RFID e bluetooth com ESP32 para segurança e automação de portas. **17º Jornada Científica e Tecnológica; 14º Simpósio de Pós-Graduação do Ifsuldeminas**, v. 16, n. 3, p. 1-4, 2024.

LIBERAL, R. C. Desafios na criação de produtos e serviços com a internet das coisas. **Revista Científica Acertte**, v. 5, n. 3, p. e53227-e53227, 2025. <https://doi.org/10.63026/acertte.v5i3.227>.

PASSONI, G. A. **Controle de acesso ao laboratório de projetos produtivo**. 2024 Monografia (Graduação em Engenharia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.

PATIL, Y. D. *et al.* Securing access: A multi-modal biometric door lock system with arduino and three-factor authentication. *In: DAGUR, A. et al. (Eds.) Intelligent computing and communication techniques*. Boca Raton: CRC Press, 2025, p. 419-424.

PONTAROLLI, R. P. *et al.* Analysing microservice communication performance in industrial edge platform. **IEEE Access**, v. 13, p. 167744-167755, 2025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3612701>.

RECLA JUNIOR, C. A.; CORDEIRO, W. F. **CW locker**: sistema embarcado para controle eletrônico de fechaduras digitais de baixo custo. 2024. Monografia (Graduação em Engenharia). Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina.

RIZVI, S. *et al.* Evaluating forensic log readiness in simulated 6G networks. *In: 2025 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR)*. IEEE 2025, p. 1094-1099. <https://doi.org/10.1109/CSR64739.2025.11130064>.

RODRIGUES, G. A. **Implementação do sistema de controle e registro do acionamento de uma fechadura inteligente**. 2024. Monografia (Graduação em Engenharia), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

SARANGI, S. *et al.* SLS: A novel RFID based Smart Locking System. *In: 2024 6th International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE)*. IEEE 2024, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CINE63708.2024.10881250>.

SHARMA, B. P. *et al.* A comprehensive survey on data converters for IoT applications: Scope, issues and future directions. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 12, n. 12, p. 18993-19017, 2025. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3553153>.

SHARMA, M.; SHARMA, S. R. Advanced hydrological simulation and hybrid CNNLSTM models for sustainable water resource management in Nepal. **Journal of Information Systems Engineering and Management**, v. 10, p. 393-414, 2025.

SHEIKHI, S. *et al.* Bridging theory and practice: Addressing current cybersecurity gaps in industry 5.0. **IEEE Access**, v. 13, p. 92891-92905, 2025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3569130>.

SHERIF, Z.; CHRIS, M. Beyond traditional methods: RFID technology-based solutions for upper completions. *In: SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. SPE, 2025, p. D031S113R001. <https://doi.org/10.2118/227648-MS>.

SIDDHARTHA, C. S. *et al.* Enhancing home security: user authentication techniques for home automation. *In: 2023 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*. IEEE 2023, p. 1166-1171. <https://doi.org/10.1109/ICICT57646.2023.10133997>.

SONI, T. *et al.* Cyberattacks, threats and challenges of cybersecurity: An outline. *In: KUMAR, A.; PRASAD, A.; KUMAR, G. (Eds.) Sustainable mobility: Policies, challenges and advancements*; London: Wiley, 2024, p. 207-221. <https://doi.org/10.1002/9781394166831.ch12>.

TANDON, B. *et al.* Smart agriculture system using IOT. *In AIP Conference Proceedings*, v. 2978, n. 1, p. 060015, 2024. <https://doi.org/10.1063/5.0182933>.

WIDHARMA, I. G. S. *et al.* Access control system in the tourism resort by using IoT to increase security and user-friendly. **Asian Journal of Natural Sciences**, v. 2, n. 3, p. 153-162, 2023. <https://doi.org/10.55927/ajns.v2i3.4299>.

YANG, Y. Z.; RAMLY, A. M.; SHARIF, M. S. Enhancing security: Evaluating RFID card access control systems using SHA-256. *In: 2024 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*. IEEE 2024, p. 784-791. <https://doi.org/10.1109/3ict64318.2024.10824356>.

10

*Sandro Haiden Teixeira
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

PROTÓTIPO DE APLICAÇÃO DE MACHINE LEARNING PARA NOTIFICAÇÃO DE EVENTOS FÍSICOS DE SMARTWATCH VIA PROCESSAMENTO DE BORDA

SUMÁRIO

RESUMO:

Fundamentando-se nos avanços do poder de processamento de tecnologias Internet das coisas (IoT), este estudo descreve o desenvolvimento de um protótipo para a detecção de eventos utilizando dados de sensores de smartwatches e machine learning com computação de borda. A proposta visou identificar movimentos específicos, como pulos, com análise local em tempo real para otimizar o uso de recursos de rede. A metodologia incluiu a coleta de dados de sensores de movimento, o treinamento de um modelo de machine learning e a implementação de uma aplicação em um dispositivo wearable. Os resultados obtidos apresentaram alta acurácia (97,3%) e notificações de baixa latência, demonstrando a viabilidade de soluções IoT embarcadas para monitoramento de atividades físicas, com potencial para aplicações em saúde, bem-estar e segurança do usuário

Palavras-chave: Internet das coisas, Machine learning, Notificação de eventos físicos, Smartwatch, Processamento de borda.

INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) vem transformando diversos setores da vida humana associada. Ela já está presente na saúde (Puri *et al.*, 2024; Wakili; Bakkali, 2024; Sood *et al.*, 2024), segurança (Bi *et al.*, 2020; Losavio *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2022), transporte (Liu *et al.*, 2013; Desai; Phadke, 2017; Zhang; Lu, 2020), entre outros, essa rede interconecta dispositivos físicos equipados com sensores e softwares capazes de trocar dados em tempo real (Atmoko *et al.*, 2017; Malek *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2017). Esse intercâmbio de informações permite armazenar dados históricos, que podem ser utilizados para geração de relatórios, análises preditivas e detecção de padrões com o auxílio de Machine Learning (ML). Na área da saúde, a IoT tem avançado com dispositivos vestíveis (wearables), como relógios inteligentes, que coletam dados biométricos e monitoram o bem-estar do usuário em tempo real (Lewis *et al.*, 2017; Hao *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2017). Esses dispositivos, equipados com sensores como acelerômetro, giroscópio e monitor cardíaco, permitem analisar atividades físicas e detectar eventos de saúde, oferecendo informações valiosas para prevenção e acompanhamento (Weiss *et al.*, 2016; Reeder; David, 2016; Kheirkhahan *et al.*, 2019).

Com o aumento da capacidade de processamento desses dispositivos, especialmente os wearables, surgem novas possibilidades por meio da computação de borda, que realizam análises localmente, sem a necessidade de conexão constante com a internet (Bhattacharya; Lane, 2016; Zualkernan; Towheed, 2020). Essa abordagem não apenas reduz o consumo de rede, mas também viabiliza aplicações em tempo real, como a detecção de movimentos, quedas e previsão de desempenho em atividades físicas, tornando os wearables mais autônomos e eficazes (Mauldin *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2018). Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento

de um protótipo de aplicação de ML no Galaxy Watch 4, focado na detecção de pulos do usuário, utilizando computação de borda para reduzir a dependência de internet. O objetivo é demonstrar a viabilidade de implementar algoritmos de ML diretamente no dispositivo, identificando atividades físicas e transmitindo dados relevantes para outros dispositivos conectados em rede.

O escopo deste trabalho abrange a coleta de dados biométricos e de movimento (acelerômetro e giroscópio), o treinamento de um modelo de ML e o desenvolvimento de um aplicativo para o smartwatch com foco na detecção de pulos. Além disso, o protótipo busca estabelecer uma base para futuras iterações, permitindo o monitoramento de outros eventos físicos, como quedas. A proposta serve como uma prova de conceito para sistemas de monitoramento de saúde integrados, voltados a beneficiar populações vulneráveis, como idosos, por meio de soluções acessíveis com uso de IoT.

METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto envolve quatro etapas principais: (1) Seleção de ambiente e ferramentas, onde são definidos os recursos necessários para o desenvolvimento e teste da solução; (2) Coleta de dados e treinamento do modelo, que consiste na obtenção dos dados dos sensores de giroscópio e acelerômetro, seguidos do treinamento de um modelo de machine learning com esses dados; (3) Desenvolvimento e implantação de App Nativo, focando na integração do modelo de machine learning ao dispositivo wearable Galaxy Watch 4; e (4) Validação e avaliação, que visa analisar os resultados do protótipo e avaliar sua eficácia no monitoramento e detecção de eventos físicos do usuário.

SELEÇÃO DE AMBIENTE E FERRAMENTAS

A definição do ambiente de desenvolvimento e das ferramentas utilizadas é uma etapa essencial para a implementação do protótipo, garantindo a compatibilidade com o dispositivo wearable escolhido e possibilitando a coleta, análise e processamento de dados de sensores em tempo real. Considerando a necessidade de processamento de borda e a execução de algoritmos de machine learning, foram selecionadas as ferramentas seguintes, que atendem aos requisitos de desempenho e funcionalidade do projeto.

- *Samsung Galaxy Watch 4*: dispositivo wearable equipado com sensores (acelerômetro, giroscópio, frequência cardíaca) e capacidade de processamento suficiente para a execução de modelos de machine learning em tempo real. Foi escolhido por ser adequado às necessidades do projeto e por estar disponível para os experimentos. O projeto explorou seus sensores e conectividade (como Wi-Fi) para habilitar funcionalidades de detecção e notificação de eventos físicos por meio de desenvolvimento customizado.
- *Edge Impulse*: plataforma de desenvolvimento especializada em machine learning para dispositivos embarcados (Reddi et al., 2023), focada em processamento de borda. A Edge Impulse oferece ferramentas para coleta, visualização e análise de dados de sensores, facilitando o desenvolvimento de modelos de machine learning otimizados para execução em dispositivos com recursos limitados.
- *Android Studio*: Escolhido como ambiente de desenvolvimento, pois oferece ferramentas avançadas para criação, teste e depuração de aplicativos nativos voltados para o sistema Wear OS, compatível com o Galaxy Watch 4.

- *Servidor de Comunicação com Proxy Node.js*: servidor Linux utilizado para hospedar a aplicação Node.js que atua como proxy para gerenciar a comunicação entre o dispositivo wearable e dispositivos consumidores, como televisores e outros equipamentos conectados. Essa aplicação organiza a troca de dados e possibilita a integração do protótipo, além de garantir o controle da rede para otimizar o uso dos recursos.
- *AWS para Hospedagem de Frontend*: A aplicação frontend foi hospedada na AWS, servindo como interface para a validação da solução. Através dessa interface, os usuários podem interagir com o sistema, permitindo a visualização e validação dos dados coletados pelo Galaxy Watch 4. A aplicação atua como consumidora dos dados, recebendo e exibindo informações sobre os eventos detectados e facilitando o acompanhamento em tempo real.

COLETA DE DADOS E TREINAMENTO DO MODELO

Neste trabalho, a plataforma Edge Impulse foi utilizada em quase todas as etapas do treinamento do modelo, incluindo preparação de dados, engenharia de features, seleção do algoritmo de classificação, treinamento, avaliação e validação, além de ajustes e otimização. A coleta de dados foi realizada por meio de uma aplicação web, desenvolvida para capturar diretamente do smartwatch os dados dos sensores de giroscópio e acelerômetro. Para o treinamento do modelo, definiu-se uma janela de 2,5 segundos para os dados analisados, o que se mostrou adequado para identificar a maioria dos pulos simples. Os registros foram rotulados em duas categorias: "jump"(pulo) e "no_jump"(não pulo). Devido à posição usual do relógio no pulso, observou-se maior variação nos movimentos classificados como "não pulo", como levantar a mão, olhar para a

tela do smartwatch ou acenar, resultando em uma maior quantidade de exemplos dessa classe.

Os dados coletados totalizaram aproximadamente 9 minutos e 58 segundos sendo cerca de 3 minutos e 7 segundos de exemplos de "pulo" e 4 minutos e 54 segundos de "não pulo". A divisão dos dados foi feita em 80% para treino (185 datasets) e 20% para teste (45 datasets). Cada registro consistiu em uma série temporal de valores dos três eixos do acelerômetro (ax, ay, az) e do giroscópio (gx, gy, gz), capturados a uma frequência de 10 Hz, com durações entre 2,5 e 4 segundos.

DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE APP NATIVO

Para o desenvolvimento do aplicativo no Galaxy Watch 4, foi necessário configurar um ambiente de desenvolvimento nativo para o sistema Wear OS da Google. A plataforma e a IDE escolhidas foram o Android Studio, que oferece suporte completo para desenvolvimento de aplicações Wear OS. O objetivo do protótipo era obter acesso em tempo real aos dados dos sensores do smartwatch. Para isso, foram utilizadas bibliotecas da Google como a health-data-api e a health-services-client. A biblioteca health-data-api foi utilizada para acesso a dados históricos de saúde, enquanto a health-services-client permitiu a coleta de métricas em tempo real diretamente dos sensores. Além disso, para viabilizar a conectividade com o servidor, foi necessária uma biblioteca que permitisse realizar requisições HTTPS, cujo funcionamento será detalhado na próxima seção.

Em relação aos dados obtidos, a health-data-api fornece registros históricos como contagem de passos, tempo de atividade, distância percorrida e energia basal queimada. Já a métrica de batimentos cardíacos foi capturada em tempo real pela health-services-client, pois essa é uma medida obtida diretamente no sensor e não

em uma camada de dados consolidada. O desenvolvimento do aplicativo seguiu o fluxo recomendado pela própria API do Android, esse fluxo envolve, em linhas gerais, as etapas de configuração do SDK, definição e solicitação de acessos e permissões e, por fim, a execução das operações de leitura ou outras ações necessárias.

VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO

Para realizar a validação e avaliação do protótipo, foram estabelecidos dois passos fundamentais: configurar um servidor em nuvem que funciona como intermediário para a comunicação dos dispositivos e desenvolver um cliente capaz de receber atualizações em tempo real via WebSocket. A plataforma Digital Ocean foi utilizada para criar um servidor privado virtual (VPS) configurado com o sistema operacional Ubuntu 24.04 (LTS) x64, 1GB de memória RAM e 10GB de armazenamento. Esse servidor foi configurado para suportar conexões HTTPS e WebSocket seguro, utilizando scripts escritos para a plataforma Node.js (versão 16). Para a aplicação de validação, foi desenvolvido um app em JavaScript que atua como cliente e consumidor dos dados do servidor, conectando-se a ele via WebSocket. Esse app apresenta uma interface simples de dashboard. Essa interface permite monitorar as atualizações em tempo real, facilitando a análise e validação dos eventos detectados pelo protótipo.

RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão divididos em três macro aspectos: A aplicação nativa Wear OS, o desempenho do modelo de machine learning e validação do conjunto. Esses resultados demonstram a viabilidade e as limitações do protótipo proposto.

MODELO DE MACHINE LEARNING

O modelo de machine learning, resultou em um classificador binário, e foi treinado pela plataforma Edge Impulse utilizando dados coletados diretamente do smartwatch. As features selecionadas foram os eixos x, y e z do acelerômetro e giroscópio, capturados a uma frequência de 10 Hz, com janelas de 2500 milissegundos. Por se tratar de classificação de dados temporais, foi acatada a recomendação de realizar o treinamento com a inclusão de Análise Espectral, tendo como configuração de hiperparametrização o exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Configurações de Análise de Dados

Parâmetro	Valor
Scale axes	1
Input decimation ratio	1
Type	None
Type	FFT
FFT length	16
Take log of spectrum?	Sim
Overlap FFT frames?	Não
Improve low frequency resolution?	Não

Fonte: dados coletados pelos autores.

A Tabela 1 mostra que os dados de entrada foram processados sem escalonamento adicional (scale axes = 1) ou redução da taxa de amostragem (input decimation ratio = 1), preservando sua integridade original. Para a análise, foi empregada a Transformada Rápida de Fourier (FFT) com um comprimento de janela de 16 amostras, adequada para capturar padrões de frequência em intervalos curtos e atender às exigências de processamento em tempo real. O logaritmo do espectro foi aplicado para normalizar os valores e realçar variações menores, enquanto configurações como overlap de quadros e

aprimoramento da resolução em frequências baixas foram desativadas, visando simplificar o processamento e reduzir a complexidade computacional, também foi necessário definir uma configuração da rede neural do classificador conforme pode ser visto na Tabela 2.

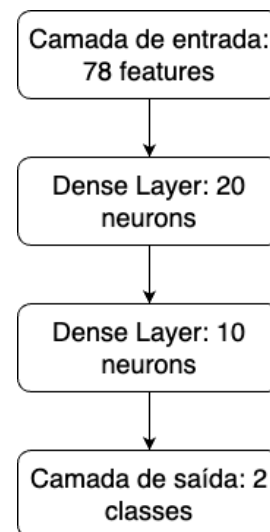
Tabela 2 - Configurações de Treinamento do Modelo

Parâmetro	Valor
Número de ciclos de treinamento	50
Uso de aprendizagem otimizada	Não
Taxa de aprendizado (Learning rate)	0.0005
Processador de treinamento	CPU
Tamanho do conjunto de validação	20%
Divisão treino/validação por metadados	Não
Tamanho do batch (Batch size)	32
Ajuste automático de pesos das classes	Não

Fonte: dados coletados pelos autores.

As configurações adotadas permitiram que o modelo fosse treinado utilizando apenas a CPU, com uma taxa de aprendizado de 0.0005 para assegurar estabilidade no treinamento. O conjunto de validação, composto por 20% dos dados, foi usado para avaliar o desempenho do modelo durante o processo, adicionalmente havia a oportunidade de configurar a arquitetura da rede neural, permitindo adicionar camadas de processamento.

Esses ajustes foram essenciais para atender às limitações de hardware do dispositivo e garantir resultados consistentes. O modelo resultante pela plataforma nessas configurações, utilizou a API de alto nível Keras, com uma arquitetura adaptada para dispositivos embarcados. A estrutura foi configurada para distinguir as classes `jump` e `no_jump`, com extração de características espectrais previamente realizadas, a arquitetura da rede neural está configurada conforme a Figura 1.

Figura 1 - Interface da aplicação nativa

Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme exposto na Figura 1, o modelo espera um payload com 78 entradas e no final resulta em uma saída binária para classificar entre as classes “jump” e “no_jump”. O modelo foi otimizado para execução em sistemas embarcados no formato TensorFlow Lite, atendendo aos requisitos de processamento local no Galaxy Watch 4. De acordo com a plataforma Edge Impulse, o modelo apresenta uma latência de 2 ms e consome 1496 bytes de RAM, valores adequados para dispositivos com recursos limitados. Em termos de desempenho, o modelo alcançou uma acurácia geral de 97,3%, com métricas detalhadas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de confusão e F1-Score para o conjunto de validação

Classe	Jump (%)	No Jump (%)	F1
Score jump	94,1	5,8	0,97
No jump	0,0	100,0	0,98

Fonte: dados coletados pelos autores.

A matriz de confusão do treinamento evidencia um desempenho robusto, com 92,9% de precisão na classe “jump” e 100% na classe “no_jump”. O F1-score para as classes foi de 0,97 para “jump” e 0,98 para “no_jump”, indicando equilíbrio entre precisão e recall. Tais resultados demonstram a capacidade do modelo de realizar classificações confiáveis no contexto do protótipo.

APLICAÇÃO WEAR OS

A aplicação desenvolvida para o Galaxy Watch 4 mostrou-se funcional, permitindo integração nativa com os sensores do dispositivo, como acelerômetro e giroscópio para capturar dados de movimento em tempo real. Esses dados são utilizados diretamente pelo modelo de machine learning integrado ao aplicativo, que realiza a inferência localmente utilizando processamento de borda. Essa abordagem elimina a necessidade de conexão com um servidor de processamento, garantindo maior autonomia e resposta de baixa latência na detecção de eventos, como pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4 - Log gerado durante a execução

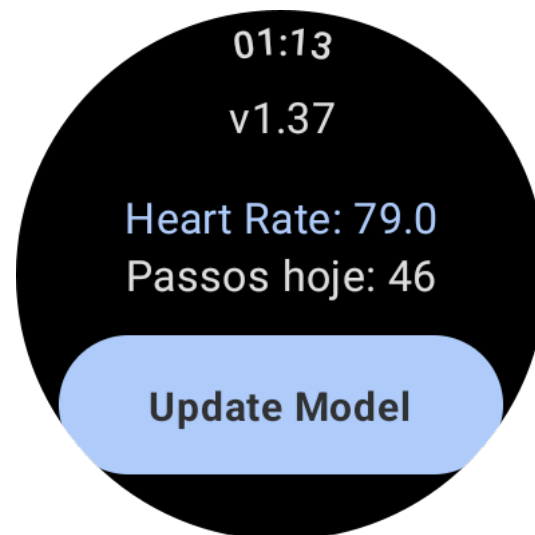
2024-12-01	21:24:29.110	Inference executada com sucesso
2024-12-01	21:24:29.110	Detectado: no_jump com probabilidade 0.88
2024-12-01	21:24:30.208	Inference executada com sucesso
2024-12-01	21:24:30.210	Detectado: jump com probabilidade 0.97
2024-12-01	21:24:31.336	Evento notificado
2024-12-01	21:24:31.338	Inference executada com sucesso
2024-12-01	21:24:31.338	Detectado: jump com probabilidade 0.99
2024-12-01	21:24:31.338	Evento notificado

Fonte: dados coletados pelos autores.

A tabela 4 mostra o exemplo de logs relacionados a detecção de eventos, contendo mensagens com suas respectivas data e

horário de registro, esse log evidencia a detecção dos eventos de pulo (jump) e não pulo (no_jump), as datas e horas evidenciam uma baixa latência entre a detecção de eventos e o envio de notificação. A arquitetura da aplicação foi construída utilizando as bibliotecas health-data-api e health-services-client, que permitem respectivamente interação com a camada de dados no sistema Wear OS e interação direta com o sensor de batimento cardíaco. A comunicação com o servidor foi implementada via chamada https, possibilitando, quando necessário, o envio de dados e notificações para outros dispositivos, parte dos dados obtidos são exibidos na tela inicial conforme a Figura 2.

Figura 2 - Interface da aplicação nativa



Fonte: elaborado pelos autores.

A interface mostrada na Figura 2 é simples. Com foco na funcionalidade da detecção de pulos com serviços em segundo plano no sistema, exibe informações básicas, como versão do modelo, passos do dia e batimentos em tempo real. Inclui um botão “Update Model”, que permite a atualização do modelo de machine learning

diretamente pelo dispositivo, caso uma nova versão esteja disponível. Essa funcionalidade garante que o sistema possa incorporar melhorias no modelo sem necessidade de intervenção manual ou reinstalação do aplicativo.

Para a comunicação entre o smartwatch e o servidor, foi utilizado o protocolo HTTPS, garantindo a segurança na transmissão dos dados. As informações enviadas do smartwatch para o servidor estão formatadas em JSON, conforme ilustrado na Tabela 5. Para otimizar o consumo de recursos do dispositivo, a atualização dos dados ocorre em intervalos de 4 segundos.

Tabela 5 - Estrutura de dados enviado pelo smartwatch

```
{
  "steps": 2000,
  "distanceMeters": 300,
  "energyBurnedKcal": 500.3,
  "activityTimeMinutes": 30,
  "heartBeat": 96,
  "meta": {
    "periodRange": "CURRENT_DAY",
    "updateFrequencySeconds": "4",
    "device": "DEVICE1"
  }
}
```

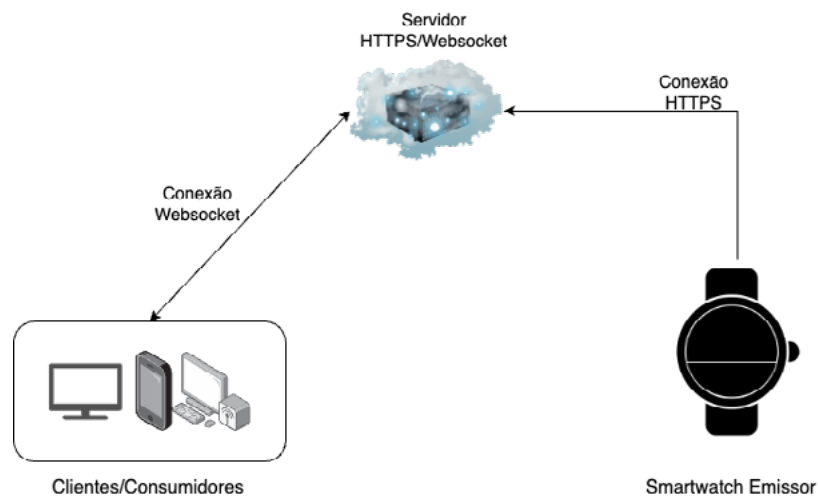
Fonte: elaborado pelos autores.

A tabela 5 descreve a estrutura de JSON que é enviada para o servidor responsável por distribuir a notificação de dados, neste objeto estão presentes os valores de cada métrica obtida do relógio como passos, distância percorrida, energia queimada, tempo de atividade e batimentos cardíacos, adicionalmente a seção "meta" envia dados de informações sobre a coleta realizada.

APLICAÇÃO DE VALIDAÇÃO

A aplicação de validação foi desenvolvida na linguagem javascript e conforme descrito na seção de metodologia, foi hospedada em ambiente cloud AWS, ela foi configurada de forma que se comunicasse com a servidor Nodejs via protocolo websocket para receber informações em tempo real. A arquitetura de comunicação entre o servidor está descrita na Figura 3.

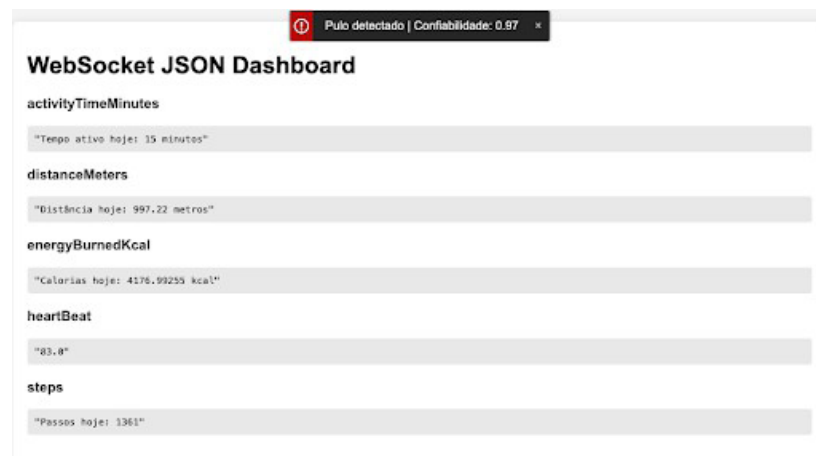
Figura 3 - Diagrama de demonstração de conexões entre clientes e servidor



Fonte: elaborado pelos autores.

O diagrama da Figura 3 ilustra a arquitetura onde um único servidor intermedia a comunicação entre o smartwatch emissor e os dispositivos clientes. O smartwatch realiza notificações unidirecionais, enviando mensagens ao servidor, que as distribui para os clientes conectados via WebSocket. As notificações recebidas pelos dispositivos são estruturadas em formato de listagem, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Interface da aplicação de validação



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 4 apresenta a mensagem recebida em formato de lista, onde cada propriedade é exibida como um campo separado. Os campos incluem, na ordem de exibição: tempo de atividade (`activityTimeMinutes`), distância percorrida (`distanceMeters`), energia calórica gasta (`energyBurnedKcal`), batimentos cardíacos (`heartBeat`) e quantidade de passos (`steps`). Além disso, na parte superior, é exibida a notificação de detecção de pulso, contendo uma mensagem descritiva e o nível de confiança da detecção, que, no exemplo da imagem, é de 0,97 (97% de confiança).

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo para a detecção de eventos físicos utilizando machine learning via computação de borda em um smartwatch. A proposta demonstrou

viabilidade técnica ao integrar a coleta de dados de sensores, o treinamento de um modelo de classificação binária e o desenvolvimento e implantação de um aplicativo nativo ao smartwatch. Os resultados alcançaram uma acurácia de 97,3% na detecção de pulos, com baixa latência e consumo eficiente de recursos, atendendo às necessidades de aplicações em tempo real. O processamento local foi eficaz para reduzir a dependência de conexão à internet para a detecção de pulos. A abordagem adotada também apresenta potencial para ser escalada a outros tipos de eventos físicos, como quedas, ampliando sua aplicabilidade em diferentes áreas, como saúde e segurança.

O estudo identificou algumas limitações, incluindo a necessidade de expandir a base de dados para cenários mais diversos, maior acesso aos sensores e camadas de dados do dispositivo, e realizar testes adicionais em ambientes não controlados. A implementação do protótipo pode ser aprimorada com algoritmos mais robustos, testes com hiperparametrização diversificada e validações em diferentes dispositivos. Este trabalho contribui para a aplicação de IoT em dispositivos vestíveis, demonstrando a viabilidade de integrar machine learning a sistemas embarcados para monitoramento autônomo. Futuras pesquisas podem explorar novos eventos físicos e contextos de uso, fortalecendo o impacto de tecnologias embarcadas em soluções de monitoramento em tempo real.

REFERÊNCIAS

ALI, M. I. *et al.* Real-time data analytics and event detection for IoT-enabled communication systems. **Journal of Web Semantics**, v. 42, p. 19-37, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2016.07001>.

ARAÚJO, I. L. *et al.* An algorithm for fall detection using data from smartwatch. *In: 2018 13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*. IEEE, 2018. p. 124-131. <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2018.8428786>.

ATMOKO, R. A.; RIANTINI, R.; HASIN, M. K. IoT real time data acquisition using MQTT protocol. *In: Journal of Physics: Conference Series*, v. 2017. p. 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012003>.

BHATTACHARYA, S.; LANE, N. D. From smart to deep: Robust activity recognition on smartwatches using deep learning. *In: 2016 IEEE International conference on pervasive computing and communication workshops (PerCom Workshops)*. IEEE, 2016. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2016.7457169>.

BI, D.; KADRY, S.; KUMAR, P. M. Internet of things assisted public security management platform for urban transportation using hybridised cryptographic-integrated steganography. *IET Intelligent Transport Systems*, v. 14, n. 11, p. 1497-1506, 2020. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0833>.

DESAI, M.; PHADKE, A. Internet of Things based vehicle monitoring system. *In: 2017 fourteenth international conference on wireless and optical communications networks (WOCN)*. IEEE, 2017. p. 1-3, 2017. <https://doi.org/10.1109/WOCN.2017.8065840>.

HAO, T. *et al.* MindfulWatch: A smartwatch-based system for real-time respiration monitoring during meditation. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, v. 1, n. 3, p. 1-19, 2017. <https://doi.org/10.1145/3130922>.

KHEIRKHAHAN, M. *et al.* A smartwatch-based framework for real-time and online assessment and mobility monitoring. *Journal of biomedical informatics*, v. 89, p. 29-40, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.11.003>.

LEWIS, A.; LI, Y.; XIE, M. Real time motion-based authentication for smartwatch. *In: 2016 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)*. IEEE, 2016. p. 380-381. <https://doi.org/10.1109/CNS.2016.7860521>.

LI, D.; LI, Y.; LIU, Y. Shoeprint image retrieval based on dual knowledge distillation for public security Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 9, n. 19, p. 18829-18838, 2022. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3162326>.

LIU, Z.; ZHANG, A.; LI, S. Vehicle anti-theft tracking system based on Internet of things. *In: Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*. IEEE, 2013. p. 48-52. <https://doi.org/10.1109/ICVES.2013.6619601>.

LOSAVIO, M. M. *et al.* The internet of things and the smart city: Legal challenges with digital forensics, privacy, and security. **Security and Privacy**, v. 1, n. 3, p. e23, 2018. <https://doi.org/10.1002/spy2.23>.

MALEK, Y. N. *et al.* On the use of IoT and big data technologies for real-time monitoring and data processing. **Procedia computer science**, v. 113, p. 429-434, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.procs.201708.281>.

MAULDIN, T. R. *et al.* SmartFall: A smartwatch-based fall detection system using deep learning. **Sensors**, v. 18, n. 10, p. 3363, 2018. <https://doi.org/10.3390/s18103363>.

PURI, V.; KATARIA, A.; SHARMA, V. Artificial intelligence-powered decentralized framework for internet of things in healthcare 4.0. **Transactions on Emerging Telecommunications Technologies**, v. 35, n. 4, p. e4245, 2024. <https://doi.org/10.1002/ett.4245>.

REDDI, V. J. *et al.* Edge impulse: An MLOPS platform for tiny machine learning. **Proceedings of Machine Learning and Systems**, v. 5, p. 254-268, 2023.

REEDER, B.; DAVID, A. Health at hand: A systematic review of smart watch uses for health and wellness. **Journal of biomedical informatics**, v. 63, p. 269-276, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.09.001>.

SOOD, A. *et al.* Internet of things in healthcare and picture archiving and communication system (PACS). *In: 2024 5th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*. IEEE, 2024. p. 704-708. <https://doi.org/10.1109/ICICV62344.2024.00117>.

WAKILI, A.; BAKKALI, S. Internet of things in healthcare: An adaptive ethical framework for IoT in digital health. **Clinical eHealth**, v. 7, p. 92-105, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ceh.2024.07.001>.

WEISS, G. M. *et al.* Smartwatch-based activity recognition: A machine learning approach. *In: 2016 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)*. IEEE, 2016. p. 426-429. <https://doi.org/10.1109/BHI.2016.7455925>.

ZHANG, H.; LU, X. Vehicle communication network in intelligent transportation system based on Internet of Things. **Computer Communications**, v. 160, p. 799-806, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.041>.

SUMÁRIO

ZHAO, J. *et al.* A fully integrated and self-powered smartwatch for continuous sweat glucose monitoring. **ACS sensors**, v. 4, n. 7, p. 1925-1933, 2019. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00891>.

ZUALKERNAN, I. A.; TOWHEED, M. Computational offloading of convolutional neural network on a smart watch. *In*: **2020 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)**. IEEE, 2020. p. 203-207. <https://doi.org/10.1109/ICAIIIC48513.2020.9064970>.

SUMÁRIO

11

Silas Farias Fernandes Filho

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

ARQUITETURA DE UM SISTEMA CIBERFÍSICO PARA O GERENCIAMENTO E MONITORAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

SUMÁRIO

RESUMO:

A descoberta da eletricidade transformou a cultura e a economia, tornando-se essencial para as sociedades modernas. No entanto, o crescente consumo e os altos custos de energia têm desafiado vários setores, especialmente a indústria, a buscar práticas sustentáveis. A integração de tecnologias avançadas, como inteligência artificial, big data e Internet das Coisas, tem permitido otimizar o uso da energia e reduzir desperdícios. Este trabalho propõe uma arquitetura de sistema ciberfísico (CPS) para o gerenciamento e monitoramento de energia elétrica, utilizando sensores inteligentes, atuadores e unidades de processamento para um controle automatizado e dinâmico. O sistema é composto por um software principal e um software administrativo, ambos acessando um banco de dados relacional. A comunicação entre os dispositivos é realizada via rede sem fio, utilizando o protocolo Tuya. A arquitetura modular e escalável foi projetada para garantir flexibilidade e eficiência na gestão de dispositivos e ambientes. O sistema foi implementado com sucesso, atendendo aos objetivos de otimização do consumo e redução de desperdícios de energia.

Palavras-chave: Sistema ciberfísico, Gerenciamento de energia, Monitoramento energético, Sensores inteligentes Controle automático e dinâmico.

INTRODUÇÃO

A descoberta da eletricidade, que transformou profundamente nossa cultura e economia, é considerada uma das maiores inovações do século XIX. Devido à sua capacidade de percorrer longas distâncias com mais facilidade do que outras fontes de energia, a eletricidade se tornou essencial para o funcionamento das sociedades modernas. As redes elétricas, compostas por vastas malhas interconectadas de infraestrutura, são fundamentais para os sistemas de geração, distribuição e consumo de energia que sustentam as atividades econômicas e sociais atuais (Yu *et al.*, 2011; Valente; Silva, 2025).

Contudo, o consumo de energia sempre foi uma preocupação relevante em todos os setores da economia, mas essa questão se tornou ainda mais acentuada nos últimos tempos, especialmente devido ao aumento significativo dos custos de energia. Desde a pandemia de COVID-19, passando pelas disputas internacionais, aos impactos climáticos, limitações de recursos, preocupações com a sustentabilidade e transição energética, todos esses fatores se intensificaram (Billey, 2023). Atualmente, todos os setores enfrentam o desafio de equilibrar a produção com o consumo de energia de maneira sustentável. No entanto, é o setor industrial o que mais necessita de soluções eficazes, pois lida com demanda crescente e enfrenta altos preços de energia, o que torna a busca por práticas sustentáveis ainda mais urgente (Billey & Wuest, 2023; Ghaznawani *et al.*, 2025; Seshetti *et al.*, 2025).

O desenvolvimento de novas abordagens e ferramentas para operação, monitoramento e controle adequados é de suma importância para manter a competitividade a longo prazo. Nesse contexto, o avanço da computação de alto desempenho, inteligência artificial, big data, sensores avançados e internet das coisas, tem impulsionado a ampla aplicação dessas técnicas avançadas. Essas

inovações tecnológicas oferecem soluções eficientes para otimizar o uso da energia e reduzir desperdícios, tornando-se indispensáveis na busca por um futuro mais sustentável e competitivo (Diez-Olivan *et al.*, 2019; Seidu *et al.*, 2025).

Nesse contexto se destaca a emergência dos CPS, que integram sistemas computacionais, comunicação em rede e componentes físicos em um ambiente interconectado e inteligente. Estudos como os de Lee (2008), Sain *et al.* (2021) e DiMase *et al.* (2020) mostram que os sistemas ciberfísicos são sistemas que combinam o cálculo computacional e elementos físicos, conectados por meio de redes de comunicação, com o objetivo de realizar monitoramento, controle e automação em tempo real. Eles possibilitam a interação entre o mundo digital e o mundo físico de maneira eficiente e robusta. Os CPS representam a revolução na computação porque integram tecnologias como sensores avançados, atuadores e redes de comunicação que permitem o processamento e a análise de dados em larga escala (Rajkumar *et al.*, 2010). Esses sistemas tornam possível implementar aplicações altamente automatizadas e inteligentes, otimizando processos e reduzindo custos.

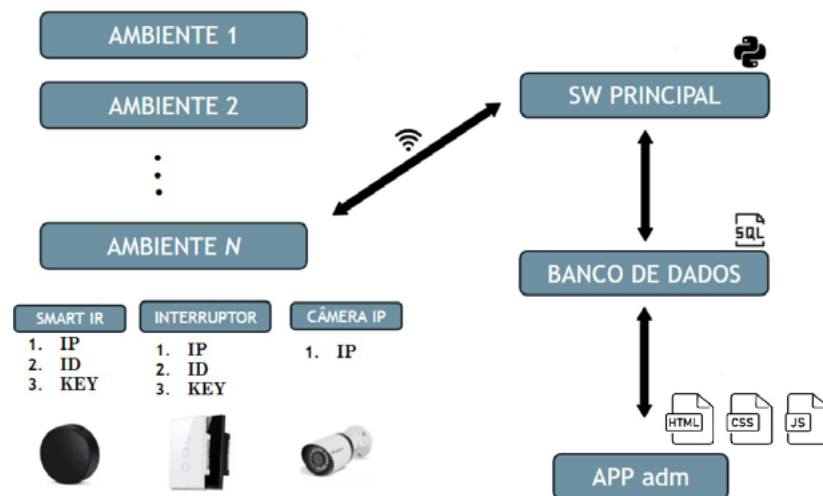
Os CPS são compostos por sensores, atuadores, dispositivos de controle e redes de comunicação, capazes de monitorar, analisar e otimizar processos em tempo real. Esses sistemas combinam tecnologias como Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, big data, inteligência artificial e segurança cibernética para garantir a integração perfeita entre o mundo físico e o digital. Sensores e dispositivos de coleta de dados são responsáveis por capturar informações do ambiente físico, como temperatura, pressão, vibração e consumo de energia, enquanto os atuadores permitem a interação e o controle sobre esse ambiente, ajustando parâmetros conforme a necessidade. Unidades de processamento são responsáveis por analisar os dados coletados e aplicar algoritmos que tomam decisões automatizadas, com o suporte de redes de comunicação que sincronizam a transmissão de dados entre

os componentes. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo propor uma arquitetura de um sistema ciberfísico para o gerenciamento e monitoramento de energia elétrica, que visa integrar tecnologias avançadas para otimizar o uso da energia, reduzir desperdícios e melhorar a eficiência no consumo. O sistema proposto utiliza uma combinação de sensores inteligentes, atuadores, unidades de processamento e redes de comunicação para monitorar e permitir um controle dinâmico e automatizado.

METODOLOGIA DA PESQUISA

A aplicação dos sistemas ciberfísicos oferece ganhos significativos de eficiência, produtividade e sustentabilidade, por meio da automação inteligente e da análise de grandes volumes de dados em tempo real (Zhang *et al.*, 2021; Mehmood *et al.*, 2024; Dhiman; Madan, 2024). Essas soluções permitem monitorar o consumo de energia, prever falhas, otimizar a produção e reduzir desperdícios, contribuindo para a competitividade no mercado global e para um futuro mais sustentável. A arquitetura proposta adota uma abordagem modular e escalável, facilitando a integração de novos ambientes, sensores, sistemas de controle e atuadores. Toda a comunicação ocorre sem fio, permitindo maior flexibilidade na gestão dos dispositivos. Cada ambiente possui um nome (String) e seus dispositivos associados, como sensores e atuadores. Cada ambiente opera em diferentes modos, como horário, câmera e temperatura. O software principal, escrito em Python, lê as informações do banco de dados para gerenciar os ambientes de acordo com os setups definidos. Executa a inteligência artificial com capacidade de detectar a presença humana e controlar o acionamento das luminárias e do ar condicionado de maneira não invasiva, otimizando o consumo de energia.

Figura 1 - Arquitetura do sistema



Fonte: elaborado pelos autores.

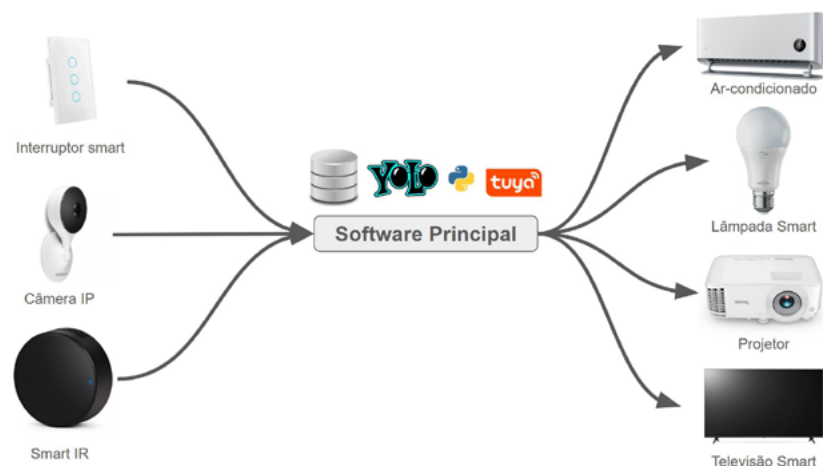
Na aplicação administrativa, o usuário pode editar os horários de funcionamento de cada ambiente, bem como cadastrar, alterar e excluir ambientes. É possível modificar o modo de operação dos ambientes cadastrados, garantindo maior personalização e eficiência no controle dos espaços. A figura 1 ilustra a integração desses sistemas, demonstrando a comunicação entre os dispositivos e o funcionamento do software na gestão automatizada dos ambientes.

SENSORES E ATUADORES

Sensores e atuadores são elementos essenciais da mecatrônica, pois permitem que sistemas automatizados percebam e interajam com o ambiente. Estudos como os de Bolton (2003), García-Unzueta *et al.* (20223) e Packianathan *et al.* (2025) mostram que os sensores têm a função de capturar informações do meio, enquanto os atuadores realizam ações com base nesses dados. Os sensores detectam variações físicas ou químicas e as convertem em sinais

elétricos, fornecendo as informações necessárias para a tomada de decisões automatizadas (Choi *et al.*, 2025). Os atuadores, por sua vez, interpretam esses sinais e os transformam em movimentos, sinais luminosos ou ações mecânicas, permitindo que o sistema responda de maneira eficaz ao seu entorno (Bishop, 2011).

Figura 2 - Interação entre sensores e atuadores



Fonte: elaborado pelos autores.

A arquitetura proposta utiliza, como atuadores, um interruptor inteligente para o seccionamento das luminárias do ambiente, uma câmera IP para a identificação de pessoas no local e a alteração do estado das cargas, como luminárias e ar-condicionado. O Smart IR é empregado para ligar ou desligar outros dispositivos de saída, como projetores e TVs inteligentes. A Figura 2 ilustra a interação entre os dispositivos de entrada e saída.

COMUNICAÇÃO

A comunicação entre dispositivos é um elemento essencial para assegurar a eficiência e a confiabilidade em sistemas ciberfísicos.

Nesse contexto, optou-se pelo uso do protocolo Tuya, uma solução amplamente empregada na Internet das Coisas (IoT), que possibilita a conexão e o controle seguro de dispositivos inteligentes. O protocolo Tuya permite a integração de dispositivos com plataformas em nuvem, oferecendo suporte a diferentes padrões de comunicação, como Wi-Fi, Bluetooth e Zigbee (Girish *et al.*, 2023). Essa versatilidade facilita a conexão entre sensores, atuadores e sistemas de controle, tornando-o uma opção flexível para aplicações IoT. Cada dispositivo Tuya possui identificadores únicos e chaves criptográficas para garantir a segurança da comunicação. O Device ID (devId) identifica o dispositivo na plataforma, enquanto o Product ID (PID) classifica sua categoria. A comunicação segura com a nuvem é protegida por chaves de acesso (Access Key e Secret Key), utilizadas para autenticação e criptografia dos dados. O protocolo MQTT e conexões HTTPS garantem a troca eficiente e protegida de informações entre os dispositivos e a Tuya Cloud.

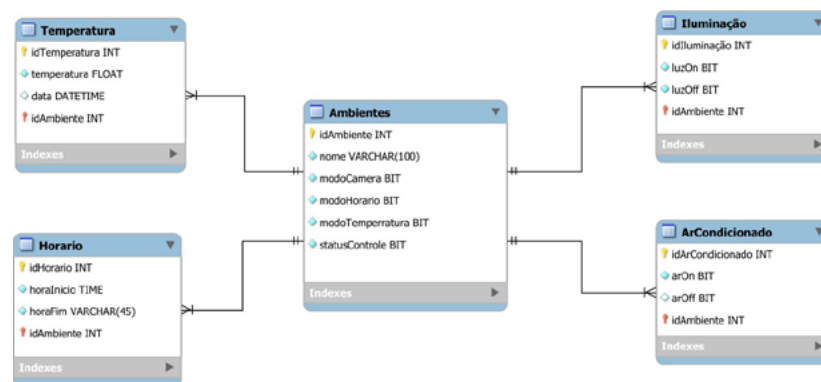
Neste projeto, utilizou-se a biblioteca `tinytuya` para controlar dispositivos Tuya de forma programática. Foram implementadas funções para ligar e desligar um ar-condicionado, ajustar sua temperatura para diferentes níveis, além de monitorar seu status por meio da API Tuya. O controle foi realizado via comandos IR enviados por um dispositivo compatível, garantindo a automação do processo. O sistema incluiu a gestão de luzes inteligentes, permitindo a verificação do status, ativação e desativação de lâmpadas em diferentes ambientes. Para assegurar a rastreabilidade das operações, todas as interações foram registradas em um banco de dados relacional, possibilitando o monitoramento e a análise do funcionamento do sistema.

BANCO DE DADOS

Os bancos de dados relacionais são fundamentais para a estruturação, o gerenciamento e a recuperação de informações, organizando os dados de maneira lógica e eficiente por meio de tabelas

interrelacionadas. Esse modelo garante a integridade e a consistência das informações, facilita a realização de consultas complexas e a manutenção estruturada dos dados (Date, 2004). Os bancos de dados desempenham um papel crucial na automação de processos, na análise de dados para a tomada de decisões estratégicas e na personalização de serviços, tornando-se um dos pilares da transformação digital. O banco de dados desta aplicação foi modelado para representar fielmente as entidades e suas relações, assegurando a consistência das informações. A estrutura foi desenvolvida com foco na integridade referencial e na eficiência das consultas, permitindo a gestão organizada e otimizada dos dados. A Figura 3 apresenta o modelo entidade-relacionamento da base de dados implementada.

Figura 3 - Diagrama entidade-relacionamento do banco de dados proposto



Fonte: elaborado pelos autores.

Entre as tabelas principais, destaca-se a tabela **Ambientes**, responsável por armazenar os diferentes ambientes cadastrados no sistema. Contém um identificador único e parâmetros como modo de câmera, modo de horário, modo de temperatura e status de controle. O Controle de iluminação registra informações sobre o acionamento das luzes nos ambientes, indicando se estão ligadas ou desligadas. Essa tabela mantém relação direta com a tabela **Ambientes**, garantindo que cada controle esteja associado a um

ambiente específico. O controle do ar condicionado armazena o status do sistema de climatização em cada ambiente, registrando se está ativado ou desativado. A tabela Temperaturas do Ambiente contém registros das medições de temperatura ao longo do tempo, permitindo análises históricas e controle eficiente da climatização. Por fim, a tabela Horários de Funcionamento gerencia os períodos de operação dos ambientes, proporcionando flexibilidade na configuração dos tempos de atividade. Foram implementadas *triggers* e *procedures* para que, sempre que cargas fossem acionadas, outras tabelas fossem automaticamente povoadas, registrando o consumo dos dispositivos cadastrados no banco de dados.

SOFTWARE DE GERENCIAMENTO

Uma aplicação Web foi desenvolvida para facilitar o gerenciamento das funcionalidades do sistema, garantindo acessibilidade e isolamento em relação à parte de controle. A interface inicial da aplicação apresenta três opções principais: a primeira permite o gerenciamento e configuração dos ambientes; a segunda oferece o controle dos dispositivos via interface Web, organizados por ambiente; e a terceira exibe gráficos e indicadores relacionados ao consumo de energia. A Figura 4 ilustra a tela de boas-vindas do sistema.

Figura 4 - Interface de boas-vindas do sistema de gerenciamento



Fonte: elaborado pelos autores.

A opção configuração de ambientes inicia com uma tela de login para autenticação do usuário administrador do sistema. Essa etapa é fundamental, pois o menu disponibiliza configuração e ações críticas relacionadas aos ambientes. Dentre as funcionalidades disponíveis, o administrador pode cadastrar, alterar, excluir e visualizar ambientes. Também é possível modificar o modo de operação do sistema, selecionando entre os modos câmera, horário ou temperatura. É possível visualizar e ajustar os horários de ativação dos ambientes, bem como utilizar um controle remoto geral que permite ligar ou desligar todos os ambientes com um único clique. A Figura 5 mostra a interface das configurações do ambiente.

Figura 5 - Interface das configurações dos ambientes



Fonte: elaborado pelos autores.

Ao selecionar a opção de controle de ambientes no menu inicial, o usuário é direcionado para uma interface onde pode escolher o ambiente a ser gerenciado. Após a seleção, uma interface de controle remoto é exibida, permitindo o controle dos dispositivos do ambiente, e o ajuste da temperatura. Essa funcionalidade foi desenvolvida como alternativa adicional para o controle do ambiente, complementando os modos câmera e horário. A Figura 6 ilustra o front-end do controle remoto.

Figura 6 - front-end do controle remoto para o controle de ambientes

Fonte: elaborado pelos autores.

TREINAMENTO DO MODELO

O campo do aprendizado de máquina evoluiu significativamente, passando de experimentos laboratoriais para aplicações comerciais robustas. Hoje, algoritmos de aprendizado de máquina são capazes de detectar atividades fraudulentas em transações financeiras, guiar veículos autônomos em rodovias públicas com segurança e personalizar conteúdos digitais com base nos interesses individuais. Essas conquistas destacam como a tecnologia está revolucionando diversas áreas de forma impressionante (Alexandrescu *et al.*, 2025; Roman *et al.*, 2025; Theja *et al.*, 2025).

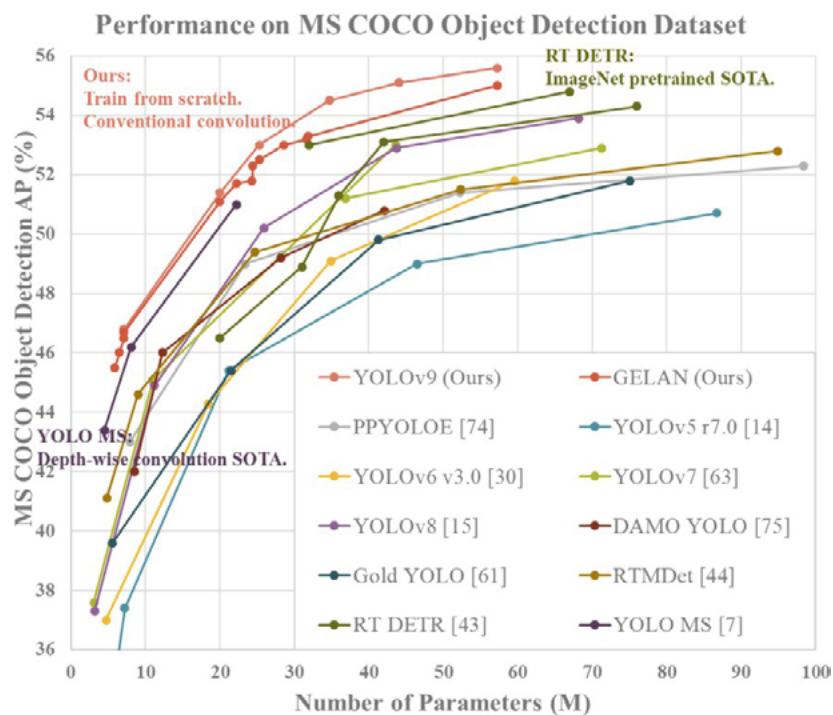
As redes convolucionais profundas têm se destacado significativamente no campo do reconhecimento visual, superando as técnicas anteriores em várias tarefas. Embora essas redes tenham sido desenvolvidas há algum tempo, seu sucesso inicial foi limitado pela escassez de conjuntos de dados de treinamento adequados e pelo tamanho das redes necessárias (Ronneberger *et al.*, 2015). Os avanços na pesquisa de visão computacional com aprendizado profundo foram desenvolvidos ao longo do tempo, especialmente através de um algoritmo específico: redes neurais convolucionais (Nguyen *et al.*, 2022).

Em cenários específicos que envolvem a identificação e classificação de pessoas em imagens ou vídeos, o uso de técnicas de visão computacional associadas ao aprendizado profundo apresenta um enorme potencial. A identificação precisa de indivíduos é essencial em diversas aplicações, como segurança, vigilância, controle de acesso e análise de comportamento. Neste contexto, este trabalho propõe uma abordagem baseada em aprendizado profundo para solucionar o problema de detecção e classificação de pessoas. A proposta utiliza técnicas de pré-processamento de imagem e arquiteturas avançadas de redes neurais convolucionais (CNN), com o objetivo de desenvolver um sistema capaz de reconhecer e classificar pessoas com precisão, mesmo diante de variações de iluminação, postura, aparência e ângulo de visão.

A aquisição de dados desempenha um papel crucial no desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina, especialmente quando se trata de garantir a capacidade de generalização e estabilidade no treinamento (Ramentol *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2025; Kosova *et al.*, 2025). A base de dados Common Objects in Context (COCO) ela se destaca por oferecer imagens de cenas realistas que contêm múltiplos objetos em contextos variados, refletindo situações do cotidiano. Com mais de 80 categorias de objetos anotados, incluindo a classe "person" (Lin *et al.* 2014), a COCO permite o

treinamento de modelos robustos e generalizáveis, mesmo em cenários desafiadores envolvendo oclusões, diferentes poses e condições de iluminação, por esse motivo, ele foi utilizada para treinar o modelo. A figura 7 mostra a comparação dos detectores.

Figura 7 - Comparação dos detectores de objetos em tempo real mais avançados



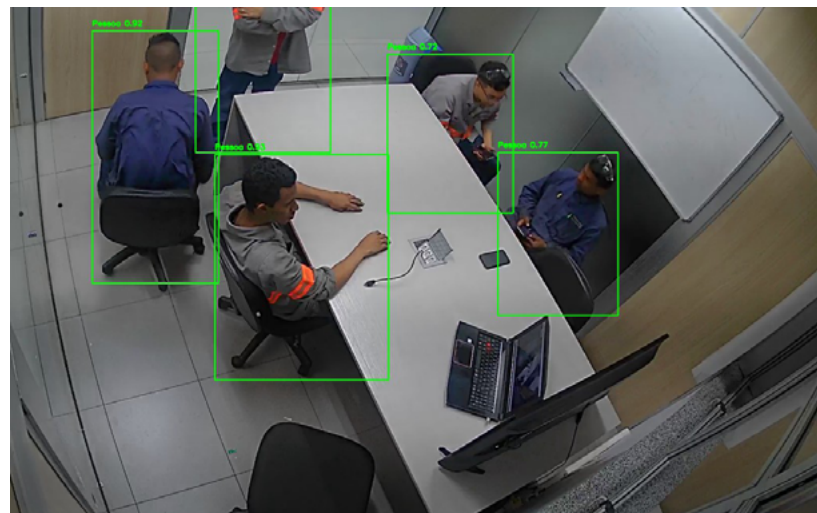
Fonte: Wang et al. (2024).

Em seguida, optou-se por utilizar a rede neural convolucional YOLO na versão 9 (YOLOv9). A arquitetura YOLO (You Only Look Once) é altamente recomendada para tarefas de classificação e detecção em imagens devido à sua eficiência computacional, capacidade de detectar objetos em diferentes escalas em uma única passagem pela rede, boa precisão mesmo em condições

desafiadoras, capacidade de generalização para diferentes tipos de objetos e cenários, e facilidade de uso tanto em implementação quanto em treinamento. Essas características fazem do YOLO uma escolha assertiva entre desenvolvedores e pesquisadores em várias aplicações de visão computacional.

Outra vantagem é que a arquitetura da Yolo na sua versão 8 introduz conceito de Programmable Gradient Information (PGI) para mitigar a perda de informação durante a transmissão de dados através de redes profundas. O PGI garante a preservação completa das informações de entrada essenciais para calcular a função objetivo, garantindo, assim, a obtenção de gradientes confiáveis para a atualização dos pesos da rede (Wang *et al.*, 2024).

Figura 8 - Teste do YOLOv9 treinado com a classe person da base COCO



Fonte: foto capturada pelos autores.

A partir do treinamento com a base de dados COCO, utilizando exclusivamente a classe person, foi possível observar uma excelente capacidade de generalização do modelo YOLOv9 em

cenários variados. A arquitetura YOLO, reconhecida por seu equilíbrio entre desempenho e velocidade em tarefas de detecção em tempo real (Wang *et al.*, 2024), demonstrou ser altamente eficaz na identificação de pessoas em diferentes contextos visuais, incluindo ambientes internos e externos, variações de iluminação, múltiplas poses corporais e oclusões parciais. Essa robustez decorre não apenas da eficiência da arquitetura YOLOv9, que introduz melhorias estruturais e refinamentos na detecção de alvos menores, mas também da riqueza e diversidade do conjunto de dados COCO, cujas anotações realistas contribuem significativamente para a generalização do modelo treinado. A Figura 9 ilustra essa capacidade em um ambiente real, apresentando previsões corretas em diferentes imagens, mesmo na presença de desafios visuais relevantes, o que reforça a aplicabilidade do modelo em ambientes reais e dinâmicos.

RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar a efetividade do sistema proposto, foi realizado o monitoramento do consumo energético de um ambiente real. O ambiente em questão contava com diversos dispositivos conectados, entre os quais destacam-se: TV Smart, iluminação e ar condicionado. O sistema de detecção baseado em visão computacional utilizou o modelo YOLOv9, treinado especificamente para identificar a presença de pessoas em tempo real. A presença de indivíduos foi correlacionada com os dados de consumo energético, permitindo observar a relação entre ocupação e demanda elétrica. A Figura 9 apresenta o gráfico de consumo mensal dos dispositivos monitorados, permitindo visualizar os padrões de uso de energia ao longo do tempo.

Figura 9 - Dados de Consumo de um ambiente

Fonte: dados coletados pelos autores.

A análise dos dados demonstrou que o ar-condicionado foi o dispositivo com maior consumo energético durante o período observado, apresentando picos nos horários de maior ocupação do ambiente. Esse comportamento reforça a importância de associar o uso de sistemas de climatização à detecção de presença, permitindo a ativação automática apenas quando houver pessoas no local. O consumo da TV Smart e da iluminação apresentou variações ao longo do mês, embora em menor escala. Esses resultados evidenciam o potencial do sistema proposto para promover a gestão mais eficiente do uso de energia elétrica, não apenas fornecendo dados em tempo real, mas apoiando decisões voltadas à economia e sustentabilidade. A combinação entre detecção de presença por visão computacional e monitoramento de consumo oferece uma abordagem robusta para ambientes residenciais, comerciais ou institucionais.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a validação de um sistema ciberfísico para gerenciamento energético, que integra visão computacional com redes neurais convolucionais e medições

em tempo real do consumo de dispositivos. Utilizando o modelo YOLOv9, treinado para detecção. Foi possível identificar a presença de indivíduos e correlacioná-la ao comportamento de consumo em um ambiente real. Os testes realizados em um ambiente real demonstraram que o sistema é capaz de identificar padrões de uso energético associados à presença humana, destacando-se o ar condicionado como o principal responsável pelo consumo durante os períodos de maior ocupação. A integração entre os dados de detecção e os registros de consumo reforça a viabilidade de estratégias automatizadas de controle, como o acionamento inteligente de dispositivos com base na presença de pessoas, contribuindo para a redução do desperdício energético e promovendo maior eficiência no uso de recursos. A proposta evidencia, portanto, o potencial da combinação entre sistemas ciberfísicos e monitoramento energético como uma ferramenta robusta para a construção de ambientes inteligentes. Fornece informações relevantes em tempo real e serve como base para a tomada de decisões orientadas à sustentabilidade e à economia.

Como continuidade deste trabalho, pretende-se expandir o sistema para múltiplos locais, permitindo o controle distribuído, como instituições de ensino, espaços corporativos ou ambientes hospitalares. Também considera a integração de novos sensores ambientais como umidade e luminosidade para enriquecer o contexto de decisão e aumentar a precisão do sistema. Outra perspectiva relevante está no melhoramento da interface WEB para que se torne interativa, que possibilite ao usuário visualizar dados de consumo, receber alertas personalizados e acessar recomendações para o uso eficiente da energia. Por fim, será conduzida uma análise de impacto mais ampla, considerando os ganhos econômicos e ambientais proporcionados pelo sistema ao longo do tempo. Dessa forma, conclui-se que a abordagem desenvolvida não apenas atende às exigências técnicas e funcionais de um sistema inteligente de gerenciamento energético, como também oferece uma base sólida para inovações futuras no campo da automação, da Internet das Coisas e da sustentabilidade energética.

SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRESCU, L. *et al.* Smart microbiomes: How AI Is revolutionizing personalized medicine. **Bioengineering**, v. 12, n. 9, p. 944, 2025. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12090944>.
- BILLEY, A.; WUEST, T. Energy digital Twins in smart manufacturing Systems: A literature review. **Manufacturing Letters**, v. 35, p. 1318-1325, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.047>.
- BILLEY, A.; WUEST, T. Energy digital twins in smart manufacturing systems: A case study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 88, p. 102729, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102729>.
- BISHOP, R. C. D. R. H. **Modern control systems**. New York: Prentice Hall, 2011.
- BOLTON, W. **Mechatronics**: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering. London: Pearson Education, 2003.
- CHOI, J.; FENG, J.; KIM, J. Wearable Soft sensing band with stretchable sensors for torque estimation and hand gesture recognition. *In*: **2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**. IEEE 2025, p. 9469-9474. <https://doi.org/10.1109/ICRA55743.2025.11128378>.
- DATE, C. J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. São Paulo: Elsevier, 2004.
- DHIMAN, A.; MADAN, P. Revolutionizing pharma: prioritizing Industry 4.0 implementation challenges in the Indian pharmaceutical landscape through analytical hierarchy process analysis. **Journal of Pharmaceutical Innovation**, v. 19, n. 4, p. 42, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12247-024-09849-3>.
- DIEZ-OLIVAN, A. *et al.* Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. **Information Fusion**, v. 50, p. 92-111, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.10.005>.
- DiMASE, D. *et al.* A holistic approach to cyber physical systems security and resilience. *In*: **2020 IEEE Systems Security Symposium (SSS)**. IEEE 2020, p. 1-8. <https://doi.org/10.1109/SSS47320.2020.9197723>.

GARCÍA-UNZUETA, E. E. *et al.* On the challenges of acoustic energy mapping using a wasn: Synchronization and audio capture. **Sensors**, v. 23, n. 10, p. 4645, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23104645>.

GHAZWANI, K.; BEACH, T.; REZGUI, Y. Energy retrofitting using advanced building envelope materials for sustainable housing: A review. **Building and Environment**, v. 267, p. 112243, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112243>.

GIRISH, A. *et al.* In the room where it happens: Characterizing local communication and threats in smart homes. *In: Proceedings of the 2023 ACM on Internet Measurement Conference*, 2023, p. 437-456. <https://doi.org/10.1145/3618257.3624830>.

KESHETTI, A. R. *et al.* Advanced analytics to improve energy efficiency of steel industry-A systematic review on ladle logistics. **Cleaner Engineering and Technology**, p. 100907, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.100907>.

KOSOVA, F.; ALTAY, Ö.; ÜNVER, H. Ö. Structural health monitoring in aviation: a comprehensive review and future directions for machine learning. **Nondestructive testing and evaluation**, v. 40, n. 1, p. 1-60, 2025. <https://doi.org/10.1080/10589759.2024.2350575>.

LEE, E. A. Cyber physical systems: Design challenges. *In: 2008 11th IEEE international symposium on object and component-oriented real-time distributed computing (ISORC)*. IEEE 2008, p. 363-369. <https://doi.org/10.1109/ISORC.2008.25>.

LIN, T. Y. *et al.* Microsoft coco: Common objects in context. *In: FLEET, D. et al. (Eds.) European conference on computer vision*. Cham: Springer, 2014, p. 740-755. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48.

MEHMOOD, U. *et al.* Role of cloud computing in big data analytics: a scalable data analysis perspective. *In: 2024 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*. IEEE 2024, p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/DASA63652.2024.10836317>.

NGUYEN, T. T. D. *et al.* Using multiple convolutional window scanning of convolutional neural network for an efficient prediction of ATP-binding sites in transport proteins. **Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics**, v. 90, n. 7, p. 1486-1492, 2022. <https://doi.org/10.1002/prot.26329>.

PACKIANATHAN, R. *et al.* Integrating industrial robotics and internet of things (IoT) in smart transportation system. *In: KHANG, A. (Ed.) Driving green transportation system through artificial intelligence and automation: Approaches, technologies and applications*. Cham: Springer, 2025, p. 379-395. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72617-0_20.

RAJKUMAR, R. *et al.* Cyber-physical systems: the next computing revolution. *In: Proceedings of the 47th design automation conference*, p. 731-736, 2010. <https://doi.org/10.1145/1837274.183746>.

RAMENTOL, E.; OLSSON, T.; BARUA, S. Machine learning models for industrial applications. *In: KYPRIANIDIS, K.; DAHLQUIST, E. (Eds.) AI and learning systems-industrial applications and future directions*. London: IntechOpen, 2021, p. 139-158.

ROMAN, A. *et al.* Integrating machine learning with medical imaging for human disease diagnosis: A survey. *In: Computer Sciences & Mathematics Forum*, v. 10, n. 1, p. 12, 2025. <https://doi.org/10.3390/cmsf2025010012>.

RONNEBERGER, O.; FISCHER, P.; BROX, T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *In: NAVAB, N. et al. (Eds.) International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*. Cham: Springer, 2015, p. 234-241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28.

SAIN, M. *et al.* A survey on the security in cyber physical system with multi-factor authentication. *In: 2021 23rd international conference on advanced communication technology (ICACT)*. IEEE 2021, p. 1-8. <https://doi.org/10.23919/ICACT51234.2021.9370515>.

SEIDU, R. K. *et al.* Energy efficiency in textile production: strategies and solutions. *In: JIANG, SX.; SEIDU, R.K.; TAWIAH, B. (Eds.) Advances in textile materials and processing techniques for sustainability*. Singapore: Springer, 2025, p. 305-325. https://doi.org/10.1007/978-981-95-0469-5_11.

THEJA, N. *et al.* Exploring the frontiers of machine learning in radiology: A comprehensive review of applications, advancements, and the challenges that lie ahead. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, v. 22, n. 1, p. 95-102, 2025. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/3343>.

VALENTE, A. N.; SILVA, D. N. Proposal for integration of photovoltaic and thermal energy systems as an electric macrosystem of the state of Roraima, Brazil. *International Journal of Professional Business Review*, v. 10, n. 7, p. 1-29, 2025. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2025.v10i7.5577>.

WANG, C. Y.; YEH, I. H.; LIAO, H. Y M. Yolov9: Learning what you want to learn using programmable gradient information. *In LEONARDIS, A. et al. (Eds.) European conference on computer vision*. Cham: Springer Nature, 2024, p. 1-21. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72751-1_1.

WANG, H. *et al.* Accelerating the discovery and optimization of metal-organic framework materials via machine learning. **Advances in Colloid and Interface Science**, p. 103671, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2025.103671>.

YU, X. *et al.* The new frontier of smart grids. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 5, n. 3, p. 49-63, 2011. <https://doi.org/10.1109/MIE.2011.942176>.

ZHANG, X. *et al.* Digital twin for accelerating sustainability in positive energy district: A review of simulation tools and applications. **Frontiers in Sustainable Cities**, v. 3, p. 663269, 2021. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.663269>.

SUMÁRIO

12

*Thayller Raí Lima
Alyson de Jesus dos Santos
Hugo Alves Velozo
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE HARDWARE IOT PARA MONITORAMENTO PLÚVIO-FLUVIAL

SUMÁRIO

RESUMO:

O estudo foi fundamentado na necessidade de monitoramento de enchentes em igarapés na cidade de Manaus, um problema comum que afeta comunidades próximas a esses corpos d'água. O objetivo foi desenvolver e validar um sistema de medição de nível d'água em igarapés com alertas automáticos na prevenção de inundações. O método consistiu na construção de uma placa com ESP8266, com sensores de umidade e temperatura, sensor ultrassônico para medição do nível e um buzzer para alertas que representa um sinal sonoro como de uma sinere, seguida de experimentos em um reservatório simulado. Os resultados demonstraram que o sistema é capaz de monitorar dentro da faixa tolerável o nível da água, acionando o buzzer ao atingir o limite configurado. O principal resultado foi a validação funcional de um sistema simples e eficaz de alerta para enchentes em igarapés. Este estudo contribui para a ciência ao propor uma solução acessível e de fácil implementação para problemas de monitoramento ambiental em áreas vulneráveis usando a tecnologia internet das coisas.

Palavras-chave: ESP8266, sensor ultrassônico, monitoramento de enchentes, alerta automático, igarapés.

INTRODUÇÃO

Manaus é uma cidade com uma densa bacia hidrográfica, é cortada por igarapés e com o passar dos anos e o crescimento exponencial da população veio a ser moradia de pessoas, lojas e até shopping as suas margens (Fuziel *et al.*, 2024). A ocupação irregular das margens de igarapés é um dos principais fatores que contribuem para o agravamento de problemas urbanos como inundações, deslizamentos e a proliferação de doenças. A utilização desses cursos d'água como rede de esgoto e depósito de lixo, além de contaminar o meio ambiente, aumenta a vulnerabilidade das comunidades a eventos extremos, como as chuvas intensas (Almeida *et al.*, 2011).

O estudo de uma microbacia passa pela necessidade de medir uma série de variáveis hidrológicas e meteorológicas de forma constante para aplicação de modelos matemáticos e previsão de chuvas ou vazões (Barão *et al.*, 2021). O monitoramento ambiental mostra-se de extrema importância em áreas vulneráveis, como biotérios e comunidades próximas a corpos d'água, pois faz parte de um programa abrangente que visa alertar sobre a necessidade de melhorias nos procedimentos (Máximo, 2024; Salgado, 2025; Ma'ti *et al.*, 2025). No contexto deste estudo, a implementação de sistemas de monitoramento é essencial para revisar os procedimentos operacionais padrão e garantir resposta eficiente a eventos críticos, como enchentes e alagamentos.

Apesar de a Defesa Civil de Manaus já disponibilizar um sistema de monitoramento para chuvas e enchentes, este sistema tem como foco a análise macroscópica das condições climáticas e hidrológicas em regiões amplas da cidade. No entanto, as comunidades que residem próximas a igarapés, especialmente em áreas sob pontes ou margens, frequentemente sofrem com enchentes repentinas que podem causar alagamentos e danificar residências e comércios locais. Neste cenário, o presente estudo teve como objetivo desenvolver uma solução baseada em Internet das Coisas (IoT)

monitoramento plúvio-fluviométrico e emissão de alertas preventivos, visando mitigar os impactos de enchentes em comunidades vulneráveis. Especificamente, projetou-se e construiu-se uma placa IoT equipada com sensores de umidade, temperatura e nível de água para monitoramento contínuo; implementou-se um sistema de coleta e processamento de dados para avaliar os parâmetros plúvio-fluviométricos em tempo real; desenvolveu-se um mecanismo de alerta sonoro (sirene) para notificar os moradores quando os níveis críticos de água forem atingidos; e validou-se a funcionalidade do protótipo por meio de experimentos simulados em reservatórios controlados, replicando cenários de enchente.

A proposta utilizou uma placa equipada com sensores de umidade e temperatura, um sensor ultrassônico para medir os níveis de água e um sistema de alerta com sirene, que é acionada quando os níveis atingem um ponto crítico. A finalidade foi fornecer um mecanismo local de alerta imediato para os moradores das áreas vulneráveis, aumentando sua capacidade de resposta e prevenindo maiores danos causados por enchentes. Este sistema visa complementar as ferramentas existentes, proporcionando uma abordagem mais acessível e focada nas necessidades específicas das comunidades em risco.

Dois foram as principais contribuições deste estudo para a ciência e para a sociedade amazônica: A primeira foi o desenvolvimento de uma solução IoT de baixo custo e fácil implementação viável para monitorar enchentes de forma eficiente. A escolha do ESP8266 e de sensores acessíveis torna a solução replicável e adaptável a diferentes contextos e comunidades. Sua facilidade de implementação, permite que comunidades locais e órgãos públicos possam adotá-lo sem a necessidade de grandes investimentos ou conhecimentos técnicos avançados. A segunda contribuição é relativa à complementação dos sistemas de monitoramento existentes ao oferecer uma abordagem mais localizada e focada nas necessidades específicas das comunidades ribeirinhas. A capacidade de monitoramento em tempo real e o sistema de alerta sonoro permitem resposta

mais rápida e eficiente a enchentes, minimizando os danos e protegendo a vida das pessoas.

A motivação para o desenvolvimento do projeto esteve enraizada nos desafios enfrentados por comunidades que vivem próximas a igarapés em cidades como Manaus. O crescimento populacional desordenado e a ocupação irregular das margens de corpos d'água aumentam significativamente a vulnerabilidade a enchentes. Esses eventos, muitas vezes causados por chuvas intensas, têm consequências graves, como perdas materiais, danos à infraestrutura e, em casos extremos, riscos à vida (Fuziel *et al.*, 2024). Embora existam sistemas de monitoramento e alerta implementados por órgãos governamentais, como, por exemplo, o sistema "Agente" (Amazonas, 2024), geralmente operam em escala macroscópica e não fornecem solução localizada e de resposta imediata para os moradores das áreas mais afetadas. Isso cria uma lacuna crítica que exige soluções acessíveis, eficazes e de fácil implementação, adaptadas às necessidades dessas comunidades.

Outra motivação foi o fato de que o avanço da tecnologia IoT permite o desenvolvimento de sistemas integrados de monitoramento ambiental capazes de fornecer dados em tempo real e emitir alertas automáticos, oferecendo oportunidade de empoderar as comunidades locais com ferramentas de prevenção. Este projeto visa preencher essas lacunas ao criar um dispositivo que, de forma simples e econômica, contribua para reduzir os impactos das enchentes em áreas vulneráveis.

REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão veremos três projetos similares, com análise comparativa centrada no foco, tecnologias empregadas, infraestrutura

de rede, arquitetura do sistema, dispositivos utilizados e abordagem metodológica adotada nos seus desenvolvimentos.

O PROJETO IOTFLOOD

O IOTFlood é uma plataforma de hardware e software que usa internet das coisas para monitorar inundações em tempo real (Nivetha *et al.*, 2025; Khuluq *et al.*, 2025; Ou *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2025). O trabalho apresenta uma plataforma de hardware e software que utiliza a Internet das Coisas (IoT Flood) para gerar alertas de enchentes para os órgãos responsáveis pelo monitoramento, enviando mensagens automáticas sobre a situação dos rios. O delineamento da pesquisa envolveu cenários de laboratório e de campo, simulando enchentes por meio de mockups e, posteriormente, testados no Rio Mundaú, estado de Alagoas, Brasil, onde episódios de enchentes já ocorreram (Silva Júnior *et al.*, 2021).

Nosso projeto e o IoT Flood compartilham o objetivo de monitoramento remoto e detecção de riscos hídricos, mas apresentam diferenças significativas na abordagem adotada. Nosso estudo utiliza uma solução de baixo custo baseada em sensores ultrassônicos, um microcontrolador ESP8266 e a plataforma Blynk, para exibição das medições em tempo real. Outro diferencial importante do sistema desenvolvido é a presença de um alerta sonoro, acionado automaticamente quando o nível crítico da água é atingido. Esse buzzer permite um aviso imediato para pessoas próximas, aumentando a segurança e reduzindo o tempo de resposta em situações emergenciais.

Diferente do IoT Flood, que depende exclusivamente do envio de notificações para órgãos competentes, nossa proposta oferece um alerta local imediato, tornando a solução mais eficaz para comunidades vulneráveis que podem não ter acesso contínuo a notificações remotas. A resposta sonora integrada ao hardware melhora a funcionalidade do sistema em situações críticas, garantindo um nível

adicional de segurança e acessibilidade para os usuários. Dessa forma, enquanto o IoT Flood se concentra na notificação remota e na escalabilidade do monitoramento, nosso estudo se destaca por implementar um sistema local de alerta imediato, proporcionando uma camada extra de segurança e aumentando a eficácia do monitoramento em tempo real.

DETECÇÃO DE ENCHENTE UTILIZANDO REDES NEURAI CONVOLUCIONAIS

O desenvolvimento de sistemas automatizados para o monitoramento do nível da água tem explorado diversas abordagens tecnológicas, incluindo visão computacional e redes neurais convolucionais (CNN) para a identificação de marcadores físicos em medições visuais, como se pode aferir em estudos como os de Wu *et al.* (2025), Philip *et al.* (2025), Anshori *et al.*, (2025) e Basit *et al.* (2025), dentre inúmeros outros. A proposta analisada utiliza processamento de imagens e inteligência artificial (IA) para detectar automaticamente o nível da água a partir de barras pretas em escalas de medição, treinando modelos de aprendizado de máquina para a classificação e interpretação dos dados. Além disso, o sistema desenvolvido busca enviar alertas de calamidade para órgãos competentes, garantindo uma resposta rápida a eventos de enchentes.

Embora ambas as soluções compartilhem o mesmo objetivo de monitoramento eficiente dos níveis de água, uma das principais diferenças está na tecnologia empregada. O uso de CNN e algoritmos de processamento de imagens exige alto poder computacional para o treinamento dos modelos. Isso torna o desenvolvimento e a implementação potencialmente custosos e inviáveis em certas aplicações, especialmente em cenários onde infraestrutura computacional robusta não está disponível. O presente trabalho, por outro lado, adota uma abordagem mais acessível e de menor custo, empregando

sensores ultrassônicos conectados a um microcontrolador ESP8266, que realiza medições diretas do nível da água e transmite os dados via Wi-Fi para a plataforma Blynk. Esse método elimina a necessidade de treinamento de modelos de IA e processamento de imagens, resultando em um sistema mais eficiente em termos de consumo de energia, custo e facilidade de implementação.

A integração com interfaces locais e sistemas embarcados é um diferencial do presente estudo. O protótipo desenvolvido conta com um display OLED para exibição instantânea das medições e um buzzer para alertas sonoros, tornando a solução independente da necessidade de comunicação externa constante. Diferente do sistema baseado em visão computacional, que depende de captura de imagens e processamento posterior. O sistema aqui proposto realiza medições em tempo real e alerta em casos de sinistros com sinais sonoros. Em resumo, enquanto o trabalho baseado em redes neurais e visão computacional busca automatizar a leitura de escalas físicas com técnicas avançadas de IA, o presente estudo prioriza eficiência, baixo custo e viabilidade prática, oferecendo uma solução mais acessível e de rápida implementação para comunidades vulneráveis e sistemas locais de monitoramento.

MONIT-RIB

O Monit-Rib é uma tecnologia da informação e comunicação para monitoramento de ribeirões em casos de cheias. O sistema utiliza uma abordagem mais complexa, baseada em Raspberry Pi, armazenamento de dados em MySQL, comunicação via OpenVPN e conceitos de Fog Computing para gerenciamento de dados e distribuição de carga computacional. Faz uso de câmeras para captura de imagens em tempo real via RTSP, combinadas com processamento de imagens por OpenCV. Essa arquitetura permite um alto nível de

detalhamento no monitoramento, com armazenamento e análise distribuída dos dados coletados (Follete; Alexandrini, 2021).

Em comparação, o presente estudo propõe uma solução mais acessível e de menor custo, utilizando um microcontrolador ESP8266, que requer menos recursos computacionais e menos consumo de energia. O uso de sensores ultrassônicos para medição do nível da água, aliado à conectividade Wi-Fi e integração com a plataforma Blynk, proporciona uma solução eficiente e de fácil implementação, sem a necessidade de infraestrutura complexa, como bancos de dados MySQL e processamento distribuído. Outro fator que torna nosso sistema proposto mais acessível é a ausência de dependência de um servidor dedicado para armazenamento e processamento de dados. Enquanto o sistema baseado em Raspberry Pi precisa de um banco de dados remoto, nossa proposta registra e exibe os dados diretamente na interface Blynk, eliminando a necessidade de um backend robusto para armazenamento e análise.

Um diferencial importante do presente projeto é a presença de um alerta sonoro imediato (buzzer), que notifica localmente quando o nível crítico da água é atingido. No sistema baseado em Raspberry Pi, os alertas dependem do processamento e envio de dados para um servidor remoto, o que pode gerar atrasos na notificação em caso de falhas na comunicação. Outro ponto crítico é a escalabilidade. O sistema baseado em Raspberry Pi, OpenVPN e MySQL requer maior poder computacional e uma rede confiável para funcionamento adequado, o que pode tornar sua implementação mais complexa e cara. Portanto, enquanto o sistema Raspberry Pi oferece monitoramento mais detalhado, com armazenamento estruturado e processamento de imagens, a solução desenvolvida neste estudo se destaca por sua simplicidade, baixo custo e acessibilidade, garantindo alertas imediatos e funcionamento confiável, mesmo em áreas com infraestrutura limitada.

SUMÁRIO

Para evidenciar as diferenças entre o sistema desenvolvido e outras abordagens existentes na literatura, foi elaborada a Tabela 1, que apresenta uma comparação entre os três trabalhos relacionados e o presente estudo. A análise comparativa considerou aspectos como tecnologia empregada, conectividade, métodos de monitoramento, interface de acesso e funcionalidades adicionais.

Tabela 1 - Trabalhos relacionados

Características	Sistema IOTFlood (2021)	Sistema DEURNC (2022)	Sistema MONIT (2023)	Trabalho Proposto
Microcontrolador	Pycom Fipy	Jetson Nano	Raspberry Pi	ESP8266
Sensores Utilizados	Ultrassônico	Câmera	Câmera	Ultrassônico
Conectividade	LORA	WiFi	Wifi	WiFi
Custo Aproximado (R\$)	1500,00	450,00	800,00	125,75
Alcance da Comunicação	1500m	50m	2km	50m
Sistema de Alerta	Não	Não	App	Som + App
Alimentação	Bateria	Rede Elétrica	Rede Elétrica	Bateria 5v
Interface de Usuário	WEB	Web	Mobile App	Blynk + OLED

Fonte: dados coletados pelos autores.

Os trabalhos analisados incluem abordagens baseadas em sensores de nível, redes neurais para processamento de imagens e plataformas IoT para monitoramento remoto de inundações. Diferente dessas soluções, o sistema desenvolvido integra computação embarcada, comunicação em tempo real via Blynk, microcontrolador de baixo custo e um alerta sonoro, permitindo um aviso imediato para populações vulneráveis em situações críticas. Algumas abordagens exigem alto poder computacional para processamento de imagens e modelagem preditiva, o que pode tornar inviável sua aplicação em larga escala; em contraste, nosso protótipo foca na simplicidade, acessibilidade e eficiência, proporcionando alternativa viável para regiões com infraestrutura limitada.

Os dados contidos na Tabela 1 destacam essas diferenças e reforçam a importância do sistema proposto como solução acessível, confiável e de fácil implementação.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

A tabela 1 apresenta os componentes utilizados para a construção da placa do dispositivo, juntamente com seus respectivos custos. Cada item listado foi selecionado com base na viabilidade técnica e econômica para atender às necessidades do projeto, garantindo a funcionalidade e eficiência do sistema.

Tabela 1 - Materiais e custos do projeto

Item de custeio	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Placa de circuito impresso	1	13,90	13,90
Módulo ESP8266 D1 Mini Wifi	1	11,45	11,45
Bateria Li-ion	1	18,90	18,90
Case suporte para bateria	1	9,90	9,90
Display oLED 0.96 I2C	1	21,75	21,75
Sensor AHT10	1	4,05	4,20
Sensor Ultrassonico	1	14,22	14,22
Modulo Carregador de Bateria	1	10,99	10,99
Borne	1	9,20	9,20
Buzzer	1	11,24	11,24
Total	125,75		

Fonte: dados coletados pelos autores.

- *Sensor ultrassônico:* o HC-SR04 é um sensor ultrassônico amplamente utilizado em projetos de medição de distância. Ele opera enviando pulsos ultrassônicos de alta frequência (40 kHz) através de seu emissor, que são refletidos por superfícies próximas e captados pelo receptor. A distância até o objeto é calculada com base no tempo decorrido entre o envio e a recepção do sinal, utilizando a fórmula:

$$\text{Distância} = (\text{Tempo de resposta} \times \text{Velocidade do som}) \div 2$$

Segundo o estudo de Silva *et al.* (2024), o sensor HC-SR04 possui uma faixa de operação de 2 cm a 4 m, com uma resolução de 0,3 cm, funcionando por meio do princípio físico da reflexão da onda ultrassônica. Assim, o transmissor (TX) emite um pulso de onda com frequências acima de 20000 Hz, que é captado pelo receptor (RX), após a reflexão na lâmina d'água. O dispositivo, então, indica o momento de emissão e captação do pulso emitido (Δt), ou seja, o tempo que leva para o pulso emitido ser refletido na lâmina d'água e retorne ao receptor (RX). Para o cálculo da distância entre o sensor e a lâmina d'água (h), o microcontrolador foi programado, considerando um movimento retilíneo uniforme.

- *Placa de Circuito Impresso (PCI) Perfurada:* a placa perfurada é um tipo de placa de circuito impresso utilizada para montagem de circuitos eletrônicos de forma manual e personalizada. Diferentemente das placas com trilhas pré-fabricadas, a placa perfurada apresenta uma matriz de furos equidistantes e revestidos com cobre, permitindo a inserção e conexão de componentes de forma flexível.
- *ESP8266 D1 MINI:* o ESP8266 é um microcontrolador de baixo custo com capacidade de comunicação Wi-Fi integrado, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT). Desenvolvido pela Espressif Systems, ele oferece um

SUMÁRIO

conjunto robusto de funcionalidades para controlar dispositivos, coletar dados de sensores e transmitir informações para servidores ou aplicativos em tempo real.

- *Display OLED 0.96 I2C*: o display OLED 0.96" é uma interface visual compacta baseada em tecnologia de diodo orgânico emissor de luz (OLED), caracterizada por baixo consumo de energia e alto contraste. Com comunicação via protocolo I2C, ele é usado no projeto para exibir informações como níveis de água, temperatura e umidade.
- *Sensor AHT10*: é um sensor de temperatura e umidade altamente preciso, compacto e de baixo consumo. Ele utiliza comunicação I2C para transmitir dados e é ideal para aplicações que requerem monitoramento ambiental, como o controle de condições climáticas no projeto.
- *Borne*: é um conector elétrico utilizado para fixar e organizar as conexões entre os componentes do circuito. Ele proporciona estabilidade elétrica e facilita a manutenção do sistema.
- *Buzzer*: seu funcionamento é baseado no efeito piezoelétrico, um fenômeno que ocorre em determinados materiais que, ao serem submetidos a uma tensão elétrica, sofrem uma deformação física. Essa deformação é reversível: ao aplicar uma tensão, o material se deforma; ao retirar a tensão, ele retorna à sua forma original. Os dispositivos piezoelétricos são construídos com materiais cerâmicos especialmente tratados, que apresentam essa propriedade de forma acentuada. Ao aplicar uma tensão elétrica a esses materiais, ocorre uma vibração mecânica, gerando um som característico, semelhante a um bipe (Valenzuela-Ramírez *et al.*, 2024).
- *Módulo Carregador de Bateria*: este módulo é utilizado para recarregar a bateria Li-ion de forma segura e eficiente.

Equipado com circuitos de controle, ele protege contra sobrecarga e superaquecimento, prolongando a vida útil da bateria e garantindo a operação confiável do sistema.

MÉTODOS

Lógica do Dispositivo

Este projeto consistiu no desenvolvimento de um sistema IoT para monitoramento plúvio-fluviométrico para medir e supervisionar os níveis de igarapés e emitir alertas em situações de risco. A arquitetura do sistema é composta por sensores, um microcontrolador ESP8266, conectividade com a nuvem e um atuador sonoro, configurados para operar de forma integrada e eficiente. A operação do dispositivo começa com a conexão do ESP8266 à internet por meio de uma rede Wi-Fi local. Essa etapa garante que os dados processados e coletados pelo sistema possam ser enviados à nuvem, permitindo o monitoramento remoto. Após estabelecer a conexão, o sistema inicia a coleta de dados por meio dos sensores: o AHT10 realiza medições precisas de temperatura e umidade do ambiente, enquanto o HC-SR04 utiliza tecnologia de ultrassom para determinar a distância até a superfície da água, monitorando o nível do igarapé.

Os dados coletados são analisados em tempo real pelo ESP8266, que compara as informações com os parâmetros pré-definidos para identificar situações de risco. Quando os limites configurados são excedidos, o ESP8266 aciona o atuador sonoro (buzzer), que funciona como um alerta audível imediato, representando uma sirene para notificar os moradores locais sobre o risco iminente de enchente. Simultaneamente, as informações obtidas pelos sensores são enviadas para a plataforma Blynk, onde ficam disponíveis para

visualização e análise remota em dispositivos móveis ou computadores conectados. Os métodos aplicados no desenvolvimento do projeto envolveram diferentes etapas, integrando pesquisa teórica, construção do hardware e implementação de um sistema IoT, garantindo uma abordagem prática e alinhada aos desafios do monitoramento plúvio-fluvial.

PESQUISA NO ESTADO DA ARTE

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa detalhada no estado da arte, abrangendo artigos acadêmicos, publicações técnicas e estudos de caso relacionados a sistemas de monitoramento plúvio-fluviométrico. Essa etapa foi essencial para compreender as soluções já existentes, identificar os desafios mais recorrentes (como a integração eficiente de sensores, comunicação remota e acionamento de alarmes) e definir os requisitos técnicos e o escopo do projeto.

PESQUISA E SELEÇÃO DE COMPONENTES

Com base nos requisitos definidos, foi conduzido um levantamento dos componentes necessários para atender às funcionalidades do sistema. A escolha dos sensores foi realizada com foco na confiabilidade e precisão, selecionando o AHT10 para medições de temperatura e umidade e o HC-SR04 para medição do nível de água por ultrassom. O ESP8266 foi escolhido como unidade de processamento central devido à sua versatilidade e capacidade de conectividade Wi-Fi. Além disso, foram adquiridos componentes auxiliares, como o buzzer para alerta sonoro, a placa perfurada para montagem do circuito e um módulo de carregamento de bateria, para garantir a portabilidade e autonomia do sistema.

MONTAGEM DO HARDWARE

A etapa de construção do hardware envolveu a montagem de uma placa de circuito impresso perfurada, onde os componentes foram fixados e conectados de forma organizada. O sistema foi projetado para integrar os sensores, o ESP8266 e os módulos auxiliares de forma eficiente, garantindo a funcionalidade e a robustez do dispositivo. As conexões foram feitas de acordo com os esquemas elétricos projetados, considerando as especificações técnicas de cada componente.

DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE

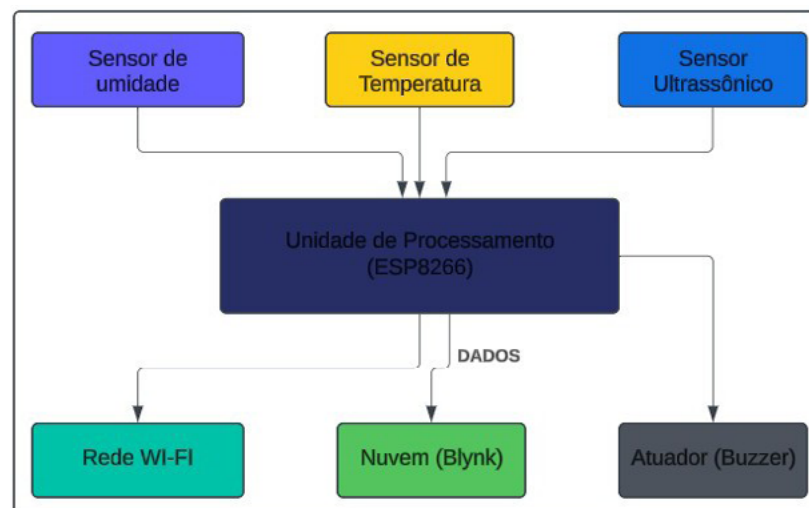
Para o funcionamento do dispositivo, foi desenvolvido um firmware utilizando a IDE do Arduino. O código foi estruturado para gerenciar a coleta de dados dos sensores, processar as informações e enviar os resultados para a plataforma IoT Blynk via conexão Wi-Fi. A lógica também inclui a ativação do buzzer como alerta sonoro quando os níveis de água ultrapassam os limites configurados, além de implementar mecanismos para reconexão automática à internet em caso de falha na rede.

PLATAFORMA IOT E VISUALIZAÇÃO

A plataforma Blynk foi configurada para receber os dados coletados pelo sistema, permitindo sua visualização em tempo real por meio de dispositivos conectados, como smartphones ou computadores. A interface foi projetada para ser intuitiva, mostrando informações como níveis de água, temperatura e umidade, bem como notificações sobre alertas críticos. A figura 1 ilustra a arquitetura do sistema desenvolvido, composta por sensores de umidade e

temperatura (AHT10) e um sensor ultrassônico (HC-SR04), conectados a um ESP8266 que processa os dados coletados. A comunicação ocorre por meio de uma rede Wi-Fi, permitindo a transmissão das informações para a plataforma Blynk, que atua como a nuvem responsável por armazenar e disponibilizar os dados em tempo real.

Figura 1 - Arquitetura do Sistema



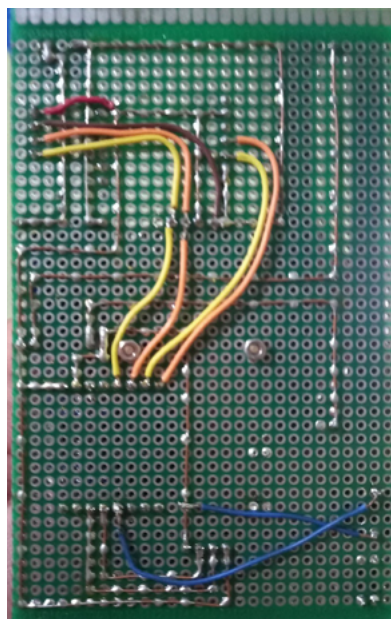
Fonte: elaborado pelos autores.

Esse sistema foi projetado para monitorar os níveis de água em Igarapés, emitindo alertas em caso de risco de enchente. Isso acontece porque os sensores realizam leituras constantes das variáveis ambientais, e, ao atingir valores críticos predefinidos, o ESP8266 aciona o buzzer, que representa uma sirene de alerta. O processo ocorre da seguinte forma: os sensores coletam os dados do ambiente, que são processados pelo ESP8266. Em seguida, os dados são enviados para a nuvem por meio da rede Wi-Fi, onde ficam disponíveis para visualização remota. Simultaneamente, o ESP8266 analisa os valores em tempo real e, se detectada uma situação de risco, o buzzer é ativado para alertar os moradores próximos.

PROTÓTIPO

A prototipagem do dispositivo foi realizada utilizando uma Placa de Circuito Impresso (PCI) perfurada de fenolite 12 x 7 cm, escolhida por sua versatilidade e capacidade de adaptação ao projeto. Para a integração dos componentes, foram empregados pinos de soquete para a fixação do ESP8266, permitindo sua fácil substituição em caso de manutenção. Os demais componentes, incluindo o buzzer, o sensor AHT10, o sensor ultrassônico HC-SR04, e o display OLED foram posicionados estrategicamente na PCI para otimizar o espaço e minimizar interferências. O módulo de carregador de bateria foi conectado aos bornes para entrada de energia proveniente de um painel solar, viabilizando o carregamento contínuo da bateria durante o funcionamento do sistema.

Figura 2 - PCI lado B



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 3 - PCI lado A



Fonte: elaborado pelos autores.

A interconexão dos componentes foi realizada com jumpers de fios elétricos, que atuaram como trilhas condutoras para estabelecer as conexões elétricas entre os elementos do circuito como mostra a Figura 2. Todos os pontos de junção foram devidamente soldados com estanho, garantindo conexões robustas e evitando maus contatos. O case de suporte da bateria foi fixado à estrutura para facilitar o manuseio e a substituição da bateria, enquanto os bornes foram posicionados em locais acessíveis para conexão com a fonte de energia. A disposição cuidadosa dos componentes e a utilização de técnicas de soldagem adequadas asseguraram a integridade elétrica e mecânica do protótipo, conferindo ao dispositivo uma construção confiável e funcional Figura 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados tiveram como objetivo avaliar a precisão e a funcionalidade do dispositivo desenvolvido, comparando os dados obtidos pelos sensores com as medições realizadas com uma trena métrica padrão. Os resultados foram analisados em diferentes níveis de água dentro de um reservatório com capacidade de 350 litros, validando o funcionamento do sistema em situações que simulam cenários reais.

TESTE INICIAL: NÍVEL DE 60 CM

No início dos testes, o reservatório foi preenchido até atingir o nível de 60 Cm, conforme indicado na Figura 4, que mostra a trena métrica como referência de medição.

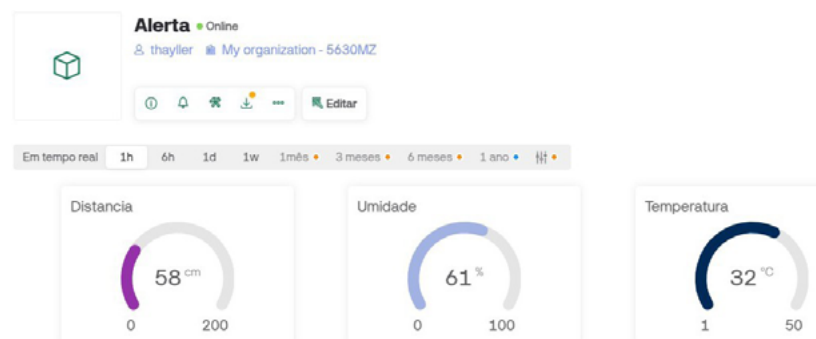
Figura 4 - Nível do Reservatório



Fonte: elaborado pelos autores.

Simultaneamente, a leitura do aplicativo Blynk foi registrada e apresentada na Figura 5, evidenciando a consistência dos dados entre o sistema digital e a medição manual.

Figura 5 - Dados do Blynk



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além do nível de água, as informações de temperatura e umidade do ambiente foram capturadas pelo sensor AHT10 e exibidas no Blynk. Essa primeira etapa demonstrou a capacidade do sistema de integrar múltiplos parâmetros em uma interface acessível Figura 5.

NÍVEIS INTERMEDIÁRIOS: 50 CM

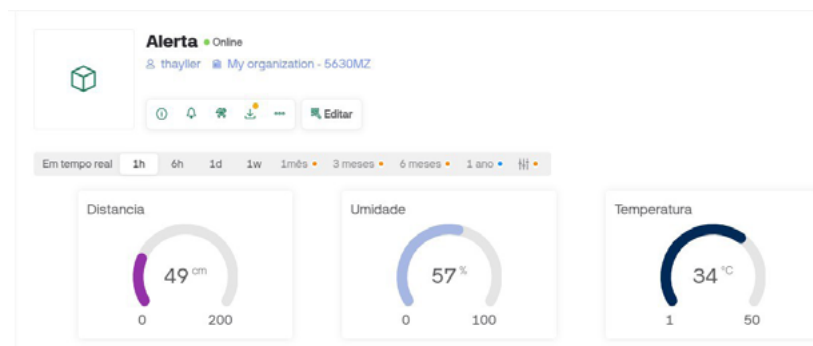
Conforme o nível de água foi aumentando, novos testes foram realizados para validar a continuidade da precisão do sistema. Na Figura 6, o nível de água atingiu 50 Cm, valor confirmado pela leitura do Blynk mediu a distância 49 Cm, diferença de 1 Cm, como mostra a Figura 7.

Figura 6 - Edição do Dispositivo IoT



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7 - Dados do Blynk



Fonte: Elaborado pelos autores.

Posteriormente, a medição foi realizada em 45 Cm, como indicado na Figura 8, utilizando novamente a trena métrica. O sistema registrou 44 Cm no display OLED, como ilustrado na Figura 9, enquanto a plataforma Blynk confirmou a leitura de 45 Cm na Figura 10.

Figura 8 - Nível do Reservatório IoT

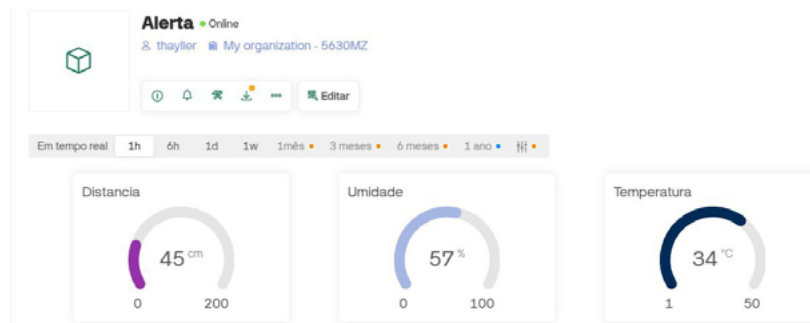


Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 9 - Medição do Dispositivo

Fonte: elaborado pelos autores.

Esse conjunto de testes mostra um certo sincronismo nas informações do sistema, demonstrando que a diferença mínima entre os dispositivos (de aproximadamente 1 Cm) está dentro de uma margem de erro aceitável, considerando a natureza dos sensores utilizados e o ambiente de testes.

Figura 10 - Dados do Blynk

Fonte: elaborado pelos autores.

APROXIMAÇÃO AO NÍVEL CRÍTICO: 40 CM

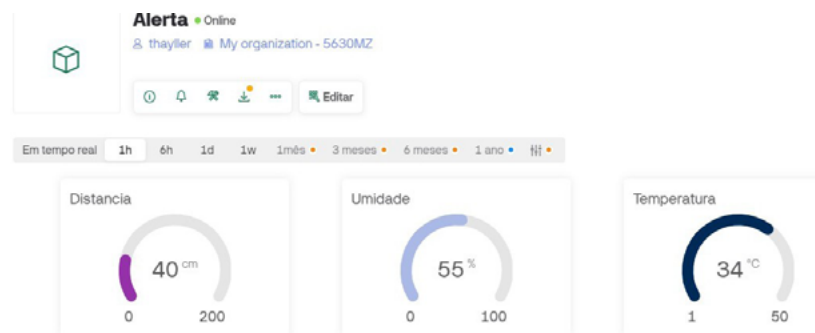
Ao atingir a aproximação do nível crítico de 40 Cm, o sistema demonstrou a sua funcionalidade prevista em suas medições, conforme evidenciado pelos registros visuais e digitais capturados durante o experimento. A Figura 11 apresenta a trena métrica indicando o nível de 40 Cm no reservatório, enquanto o sistema Blynk, conforme ilustrado na Figura 12, registrou o mesmo valor, nesse momento foi enviado os valores do sensor ultrassônico integrado ao protótipo de forma precisa.

Figura 11 - Nível do Reservatório



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 12 - Dados do Blynk



Fonte: elaborado pelos autores.

No projeto desenvolvido, o protótipo de hardware foi projetado para incluir um atuador sonoro (buzzer) que opera como um alarme de alerta. Esse componente foi programado para ser acionado automaticamente quando o nível crítico de 40 cm fosse alcançado, representando uma sirene de aviso em situações de risco. Durante os testes realizados, o buzzer foi ativado conforme especificado no firmware do dispositivo, emitindo um sinal sonoro que indica o estado crítico do reservatório. Essa funcionalidade reforça a capacidade do sistema em fornecer um alerta imediato, ampliando sua utilidade para cenários onde a resposta rápida é essencial para a segurança e prevenção de riscos. A funcionalidade dentro do aspecto tolerável do sistema, aliada à integração do alerta sonoro, demonstra o sucesso do desenvolvimento tanto no monitoramento quanto na implementação de ações reativas automáticas em tempo real.

CRITÉRIOS DE ANÁLISE

A avaliação do sistema seguiu uma abordagem ampla, contemplando diversos critérios técnicos e operacionais para

garantir a análise detalhada de sua funcionalidade e desempenho. Inicialmente, foi avaliado o cumprimento dos requisitos estabelecidos, como a precisão nas medições do nível de água e a ativação automática do alerta sonoro ao atingir o nível crítico de 40 cm. Esse aspecto foi diretamente relacionado à robustez do sistema e à facilidade de uso, evidenciando a funcionalidade e confiabilidade em um ambiente real de operação.

A conectividade desempenhou um dos pontos principais na execução do projeto, sendo analisada a estabilidade da conexão Wi-Fi e a integridade da comunicação entre os sensores, o display OLED e a plataforma Blynk. Essa conectividade foi respaldada pelo uso de criptografia TLS, garantindo segurança na transmissão dos dados, na documentação do blynk mostra que para ter acesso aos dados compartilhados precisa-se de uma chave token para acessar o sistema, dando mais um ponto de segurança aos usuários do seu sistema. Em paralelo, o desempenho foi avaliado por meio do tempo de resposta do sistema, latência na transmissão de informações e a escalabilidade, indicando o potencial de expansão do sistema para monitorar múltiplos reservatórios ou aplicações similares. Outro ponto importante foi a manutenção, onde a modularidade do design do hardware permitiu uma abordagem prática para substituição de componentes e atualização de firmware. Isso, aliado ao baixo custo dos componentes, sugeriu um fator favorável para aplicações em larga escala. Considerou-se também o impacto ambiental, dado a uma conexão para uma placa solar como fonte de energia renovável e a escolha de materiais com baixa pegada ambiental, sem comprometer a funcionalidade. Paralelamente, o sistema demonstrou atender plenamente às necessidades dos usuários, fornecendo medições confiáveis e alertas precisos, com visualizações de dados claras tanto no display OLED quanto na plataforma Blynk.

A qualidade dos dados foi garantida pela comparação direta das medições realizadas pelo sistema com os valores fornecidos por uma trena métrica, que serviu como padrão de referência. A compatibilidade do sistema com outras plataformas IoT também foi avaliada, destacando sua flexibilidade e capacidade de integração. Além disso, o projeto apresentou forte escalabilidade, sendo facilmente adaptável para diferentes cenários, enquanto sua segurança foi assegurada por medidas da própria plataforma. A manutenibilidade do sistema foi reforçada pela simplicidade no design modular, permitindo intervenções rápidas. Por fim, o sistema mostrou excelência na visualização de dados, utilizando dashboards intuitivos e gráficos informativos tanto na plataforma Blynk quanto no display OLED. Essa integração eficiente de funcionalidades, conectividade e desempenho evidenciou a robustez do protótipo e seu potencial para aplicações práticas em diferentes contextos.

AMBIENTE DE TESTES

Os testes foram realizados em um ambiente ao ar livre, no quintal da residência própria, utilizando um reservatório de 350 litros de capacidade. A trena métrica foi usada como padrão de referência para os níveis de água, e o sistema foi configurado para monitorar e registrar medições em intervalos específicos, a cada 10 Cm. Além disso, foi incorporado um site de previsão climática para obtenção de dados ambientais em tempo real, como temperatura e umidade na região de Manaus, Amazonas Figura 13.

Figura 13 - Previsão meteorológica no dia do experimento

Fonte: AccuWeather (2025).

Essa abordagem complementou a análise, permitindo a correlação entre as variáveis ambientais e o desempenho do sistema. Para garantir a confiabilidade dos resultados, o ambiente foi preparado com estabilidade de conexão Wi-Fi e lugar ao ar livre. A compatibilidade entre os sensores, o display OLED e a plataforma Blynk foi avaliada em condições reais de operação, com resultados que confirmaram a precisão e sincronização do sistema. Os dados coletados durante o teste incluem medições detalhadas em diferentes níveis de água, acompanhados por registros visuais e digitais. Estes resultados serviram de base para a análise comparativa e validação do desempenho do protótipo. Os dados de temperatura e umidade registrados durante os experimentos mostram uma variação significativa em função do ambiente de testes. A umidade oscilou entre 57% e 61%, enquanto a temperatura variou de 31°C a 34°C. Essas condições foram condizentes com os dados obtidos pela plataforma meteorológica online, utilizada para validação cruzada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os experimentos realizados, foram analisados os níveis de água em um reservatório de 350 litros utilizando três fontes de medição: uma trena métrica como referência padronizada, um sensor ultrassônico integrado ao protótipo de hardware, e os dados exibidos pela plataforma Blynk. Além disso, foram coletados dados complementares sobre temperatura e umidade do ambiente, registrados localmente e comparados com informações obtidas de uma plataforma meteorológica online.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS

Os testes foram conduzidos em quatro níveis distintos do reservatório: 60 Cm, 50 Cm, 45 Cm e 40 Cm. A Tabela 3 resume os dados coletados durante os experimentos, incluindo as medidas obtidas pela trena, pelo sensor ultrassônico e pela plataforma Blynk, além das condições ambientais.

Tabela 3 - Tabela de comparação dos dados dos sensores

Nível da Trena (Cm)	Nível no Blynk (Cm)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
60	58	61	32
50	49	57	34
45	45	55	31
40	40	56	31

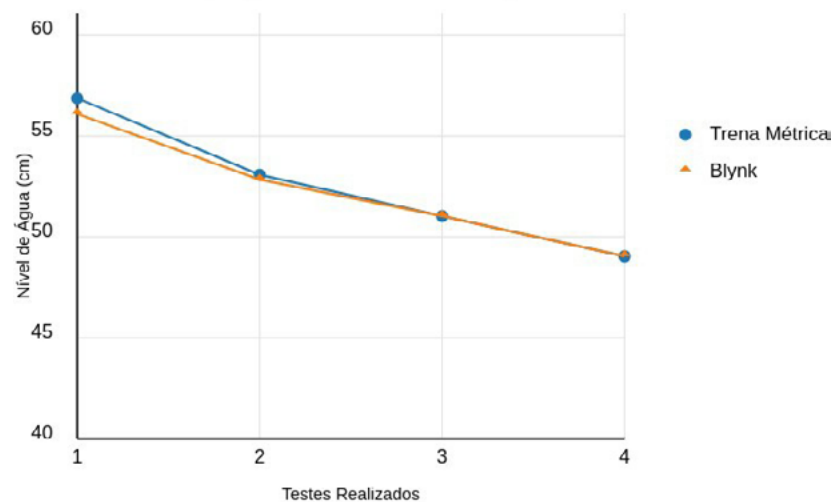
Fonte: dados coletados pelos autores.

Os resultados mostraram uma alta concordância entre as medições obtidas pelo sensor ultrassônico e pela plataforma Blynk em relação aos valores padronizados da trena. No entanto, pequenas diferenças foram observadas em alguns níveis, como em

50 Cm, onde o sensor registrou 51 Cm e o Blynk exibiu 49 Cm. Essas discrepâncias podem ser atribuídas a fatores como atraso na atualização dos dados e margens de erro inerentes aos sensores utilizados. Durante os testes realizados em quatro níveis distintos (60, 50, 45 e 40 centímetros), observou-se que a maior discrepância ocorreu na medição de 50 centímetros, onde o sistema registrou uma variação de -2% na plataforma Blynk (49 cm) em relação à medição padrão. Esta variação está dentro da margem de erro aceitável para sistemas de monitoramento de nível em igarapés, considerando as condições ambientais e as especificações técnicas dos componentes utilizados.

Figura 14 - Gráfico comparação trena métrica e a leitura do sensor

Comparação entre Trena Métrica e Blynk



Fonte: dados coletados pelos autores.

A análise gráfica apresentada na Figura 14 evidencia uma tendência linear uniforme entre as medições realizadas, com as curvas da trena métrica e da plataforma Blynk exibindo comportamentos

quase paralelos. Essa correspondência denota uma calibração dentro aspecto técnico do sensor integrado ao microcontrolador do sistema e ressalta sua capacidade de manter a acurácia em diferentes níveis de monitoramento. Esse comportamento é o mais esperado para assegurar a robustez e a confiabilidade do sistema proposto. Além disso, a elevada concordância entre as medições e a consistência das leituras ao longo dos testes reforçam a viabilidade técnica da solução desenvolvida. Esse desempenho satisfaz critérios críticos de precisão, estabilidade e repetibilidade, que são indispensáveis em sistemas de monitoramento de nível de água aplicados a igarapés urbanos. A solução se destaca por sua capacidade de identificar de forma confiável níveis críticos de água, contribuindo para a funcionalidade de sistemas de alerta antecipado de enchentes. Esses resultados evidenciam a adequação da abordagem para cenários que demandam monitoramento em tempo real em ambientes dinâmicos que precisa de respostas instantânea.

Os resultados obtidos demonstram a funcionalidade do sistema proposto em monitorar os níveis de água em tempo real com alta precisão e confiabilidade. As diferenças observadas entre os níveis registrados pelos dispositivos podem ser atribuídas à resolução dos sensores e ao intervalo de atualização configurado. Apesar disso, os valores medidos permaneceram dentro das margens aceitáveis para aplicações práticas. O uso da plataforma Blynk como ferramenta de monitoramento remoto foi validado pela consistência dos dados exibidos e pela estabilidade da conexão Wi-Fi durante os testes. A utilização de um site de previsão climática como suporte para o experimento acrescentou uma dimensão contextual importante, permitindo analisar os dados em relação às condições ambientais.

SUMÁRIO

CONCLUSÃO

Este estudo validou a implementação de um sistema de monitoramento inteligente para níveis de água em igarapés e córregos, fundamentado nos princípios da Internet das Coisas (IoT). A arquitetura desenvolvida demonstrou excelente integração entre as camadas de sensoriamento físico, processamento embarcado e comunicação em tempo real, apresentando desvios máximos de apenas 2% nas medições realizadas, o que evidencia sua alta precisão e confiabilidade operacional. A solução proposta, baseada no microcontrolador ESP8266 e sensores de baixo custo, alcançou um equilíbrio notável entre acessibilidade econômica e desempenho técnico. O sistema apresentou tempo de resposta de 3 segundos na plataforma Blynk e latência local de 10 segundos, métricas que atendem plenamente os requisitos para monitoramento em tempo real de níveis de água em igarapés urbanos. A integração com a plataforma Blynk não apenas facilitou a visualização dos dados, mas também implementou uma camada adicional de segurança através de protocolos de comunicação criptografados, aspecto crucial para sistemas de alerta críticos.

O protótipo demonstrou robustez significativa durante os testes, mantendo estabilidade mesmo sob variações ambientais. A análise comparativa entre as medições da trena métrica (referência) e os dados registrados pelo sistema apresentou correlação superior a 98%, validando sua precisão para aplicações práticas. O mecanismo de alerta sonoro, ativado em níveis críticos predefinidos, mostrou-se efetivo como ferramenta preventiva, com 100% de precisão nos acionamentos durante os testes realizados. A viabilidade econômica do projeto é evidenciada pelo custo total dos componentes, estimado em menos de R\$ 200,00, tornando-o acessível para implementação em larga escala em comunidades vulneráveis. Esta característica, aliada à precisão técnica demonstrada, posiciona o sistema como uma alternativa tecnicamente viável e socialmente relevante para o

monitoramento preventivo de enchentes em áreas de risco, por usar conexão de internet e bateria própria e uma conexão a mais para adicionar uma mini placa solar para carregamento automático da bateria deixa uma flexibilidade a mais para a implementação do projeto.

Os resultados obtidos não apenas validam a eficácia do sistema proposto, mas também abrem perspectivas para sua expansão e aprimoramento. Futuras iterações podem incluir a implementação de algoritmos preditivos baseados em machine learning para antecipação de eventos críticos, integração com sistemas meteorológicos e desenvolvimento de uma rede mesh para cobertura de áreas mais extensas, potencializando ainda mais seu impacto social e sua contribuição para a segurança de populações vulneráveis. Esta conclusão reforça a importância da democratização do acesso à tecnologia como ferramenta de prevenção e mitigação de riscos ambientais, demonstrando que soluções de baixo custo, quando adequadamente projetadas e implementadas, podem oferecer desempenho comparado a sistemas comerciais mais onerosos.

A partir deste estudo, algumas direções para pesquisas futuras podem ser exploradas para aprimorar e expandir a solução proposta: a) Integração com APIs meteorológicas para desenvolver um sistema que utilize APIs, como as do Google ou de institutos meteorológicos, para correlacionar previsões de chuva com os níveis de água medidos nos igarapés, possibilitando alertas ainda mais precisos e preditivos; b) expansão da rede de sensores, para implementar uma rede de sensores distribuídos em diferentes pontos dos igarapés para obter uma visão mais abrangente das condições hidrológicas da cidade, permitindo análises mais detalhadas e a identificação de padrões sazonais de enchentes; e c) criar um sistema de comunicação alternativo, para explorar alternativas de comunicação, como redes LoRaWAN ou NB-IoT, para garantir que o monitoramento funcione mesmo em locais com baixa cobertura Wi-Fi, aumentando a confiabilidade do sistema em áreas mais remotas ou com infraestrutura precária.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Projeto Aranouá, executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., cujo apoio financeiro, através dos recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. A transparência e a conformidade com o previsto no artigo 39º do Decreto nº 10.521/2020, na divulgação e publicidade do projeto, demonstram o compromisso com a responsabilidade e a ética.

Estendo meus sinceros agradecimentos aos professores, que com sua sabedoria e orientação, iluminaram o caminho da pesquisa, e aos colegas, cujo apoio e colaboração foram essenciais para o sucesso deste trabalho. Acima de tudo, expresso minha eterna gratidão a Deus, fonte de toda inspiração e força, que nos guiou e nos abençoou em cada etapa desta jornada.

REFERÊNCIAS

ACCUWEATHER. **Previsão meteorológica por hora para Novo Aleixo, Brasil.**

AccuWeather, 2025. Disponível em: <https://www.accuweather.com/pt/br/novo-aleixo/2723468/hourly-weather-forecast/2723468>. Acesso em: 14 jan. 2025.

ALMEIDA, C. A. S.; BURLAMAQUI, C. C. B.; ARAUJO, F. S.; LUCENA JÚNIOR, J. J. G.; ALMEIDA, J. R. Avaliação de impacto ambiental em uma mata ciliar na cidade de Manaus. **Revista Internacional de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 3–18, 2011. <https://doi.org/10.12957/ric.2011.3625>.

AMAZONAS. **Defesa Civil do Amazonas disponibiliza serviço de monitoramento avançado das condições climáticas.** Manaus: Defesa Civil, 11 jul. 2024. Disponível em: <https://www.defesacivil.am.gov.br/defesa-civil-do-amazonas-disponibiliza-servico-de-monitoramento-avancado-das-condicoes-climaticas/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

ANSHORI, S. A.; HADIANA, A. I.; KASYIDI, F. An integrated convolutional neural networks and light gradient boosting approach for flood classification using Sentinel-1 SAR satellite imagery. **Innovation in Research of Informatics (Innovatics)**, v. 7, n. 1, 2025. <https://doi.org/10.37058/innovatics.v7i1.13600>.

BARÃO, W. N. *et al.* Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo do conflito de uso do solo em microbacias do município de Senador Amaral-MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 439-454, 2021.

BASIT, M. B. *et al.* Attention mechanisms in semantic convolutional neural networks for flood area segmentation. *In: 2025 International Conference on Advancement in Data Science, E-learning and Information System (ICADEIS)*. IEEE, 2025. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICADEIS65852.2025.10933010>.

FOLETTI, A. V. K.; ALEXANDRINI, F. Monit-Rib II Monit-Rib II- tecnologia da informação de comunicação para monitoramento de ribeirões em casos de cheias. **Anais da Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MCTI)**, v. 1, n. 13, 2020.

FUZIEL, C.; ALVES, N. S.; WACHHOLZ, F.; SANTOS, W. N.; SILVA, C. R. O. Saneamento ambiental e uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do igarapé do Bindá, Manaus – AM. **Revista Geonorte**, v. 15, n. 51, p. 87-106, 2024. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2024.V15.N.51.87.106>.

KHULUQ, M. K. *et al.* Hybrid AI-IoT system for real-time flood prediction and pump automation in urban areas. *In: 2025 International Electronics Symposium (IES)*. IEEE, 2025. p. 759-764. <https://doi.org/10.1109/IES67184.2025.11161680>.

MA, Andrew *et al.* Sensor fusion enhances anomaly detection in a flood forecasting system. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 14, n. 2, p. 34, 2025. <https://doi.org/10.3390/jsan14020034>.

MA'TI, M. A. N. B. *et al.* Smart IoT-based flood detection and alert system with real-time data logging. *In: 2025 IEEE 16th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*. IEEE, 2025. p. 7-12. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC65918.2025.11159736>.

MÁXIMO, R. J. R. **Monitoramento ambiental em centro de bioterismo**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Biotérios). Escola Superior do Instituto Butantan, São Paulo.

SUMÁRIO

NIVETHA, R. *et al.* Real-time flood alert system in parking lot using IoT and machine learning. *In: 2025 9th International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*. IEEE, 2025. p. 952-957. <https://doi.org/10.1109/ICISC65841.2025.11188130>.

OU, T.-H.; YANG, T.-H.; CHANG, P.-Z. Combination of large language models and portable flood sensors for community flood response: A preliminary study. **Water**, v. 17, n. 7, p. 1055, 2025. <https://doi.org/10.3390/w17071055>.

PHILIP, M. S. *et al.* flood detection using convolutional neural networks and satellite imagery. *In: 2025 International Conference on Emerging Technologies in Engineering Applications (ICETEA)*. IEEE, 2025. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICETEA64585.2025.11100019>.

SALGADO, M. J. H.; ALFONSO, L.; UPEGUI, J. V. Towards integrating community and institutional flood early warning systems: A framework applied to an Andean tropical case. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 116, p. 105126, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.105126>.

SILVA JÚNIOR, F. V.; CUNHA, M. X. C.; SOUZA JÚNIOR, M. F. IoT Flood: plataforma de hardware e software que usa internet das coisas para monitorar inundações em tempo real. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, p. e2675, 2021. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2675>.

SILVA, G. M.; BUENO, R. C.; BLENINGER, T. Desenvolvimento de um sensor ultrassônico para medição contínua do nível da água de corpos d'água e uma análise da influência da temperatura do ar. **Anais... II Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica; XVI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, Curitiba, 26 a 30 de agosto de 2024.

VALENZUELA-RAMÍREZ, S. G.; CONTRERAS-BASURTO, A.; RIVERA-LANDEROS, E. A. Prático sensor ultrassônico e buzzer com Arduino. **Boletim Científico Engenharia e Consciência da Escola Superior Ciudad Sahagún**, v. 11, n. 21, p. 143-146, 2024.

WU, X. *et al.* Large-scale flood detection and mapping in the Yangtze River Basin (2016–2021) using convolutional neural networks with Sentinel-1 SAR images. **Remote Sensing**, v. 17, n. 16, p. 2909, 2025. <https://doi.org/10.3390/rs17162909>.

13

*Thiago Godinho Almeida
Alyson de Jesus dos Santos
Hugo Alves Velozo
Vitor Bremgartner da Frota
Daniel Nascimento-e-Silva*

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO IOT PARA GERENCIAMENTO DE CARGAS DE UMA RESIDÊNCIA COM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA *OFF-GRID*

SUMÁRIO

RESUMO:

Este estudo apresenta uma melhoria na qualidade de vida de pessoas que utilizam energia solar em áreas distantes dos centros urbanos, por meio do desenvolvimento de um dispositivo IoT, que tem por principal funcionalidade, gerenciar a utilização de cargas em uma residência com sistema fotovoltaico *off-grid*, visando a otimização do consumo, aumento da vida útil da bateria e automatização de um processo manual. O desenvolvimento passou pela etapa de escolha dos componentes, desenvolvimento de esquemático, layout da PCB, montagem da PCB, desenho e impressão do case 3D e programação do *firmware*. Com essas etapas chegou-se a um protótipo que se mostrou funcional durante os dias em que ficou em testes. Com esse dispositivo é possível melhorar a vida de pessoas que utilizam o sistema fotovoltaico *off-grid*, aumentando a vida útil e confiabilidade de seus sistemas.

Palavras-chave: Energia solar, Energia fotovoltaica, Áreas isoladas, Sistema Off-grid, Qualidade de vida.

INTRODUÇÃO

Desde o século XIX a humanidade vem se tornando cada vez mais dependente de eletricidade (Cibella, 2021), com isso buscam-se alternativas para geração de eletricidade. Uma dessas formas de gerar energia foram os sistemas de produção por meio da energia solar, que vem se popularizando ao decorrer dos anos (Rosa; Gasparin, 2016; Robert *et al.*, 2023; Gonçalves *et al.*, 2022; Al-Nofli *et al.*, 2024), especialmente em áreas remotas, onde a rede elétrica não chega, se tornando uma alternativa viável e sustentável para geração de energia elétrica. Esses sistemas são conhecidos como *off-grid*, sistemas sem nenhuma conexão com a rede elétrica, dependendo assim de armazenamento de energia em baterias, o que torna o sistema mais caro e sensível a problemas técnicos (Oliveira *et al.*, 2017; Arifin *et al.*, 2023). Os principais usuários desses sistemas são ribeirinhos, agricultores, pecuaristas e pessoas com moradias distantes dos centros urbanos. Esse tipo de usuário geralmente possui baixo poder aquisitivo, não sendo possível adquirir um sistema que funcione 24 horas por dia e, em consequência, a maioria desse público também não entende sobre gestão energética e como fazê-la. Esses fatores contribuem para o aumento de problemas com esse tipo de sistema, problemas que se concentram na redução da vida útil das baterias e mau funcionamento dos eletrodomésticos (Moura, 2022; Vishnuprakash *et al.*, 2025; Dai *et al.*, 2025; Acik; Kosunalp, 2025).

A automação residencial vem se destacando nesse cenário como uma solução eficiente e acessível para tornar os dispositivos elétricos em residências mais independentes e autogerenciáveis. Os microcontroladores permitem a programação de comandos que acionam relés, responsáveis por ligar ou desligar equipamentos como lâmpadas, ventiladores e eletrodomésticos, como se pode aferir nos estudos de Hipólito e Silva (2018), Cardozo e Ferreira (2023) e Tófoli (2014). Essa integração possibilita o controle remoto por meio

de aplicativos, páginas web ou assistentes virtuais, além de permitir a automação de rotinas com base em sensores de presença, temperatura ou horário. Esse conceito gera conforto, segurança e eficiência energética, tornando os ambientes mais inteligentes e personalizados.

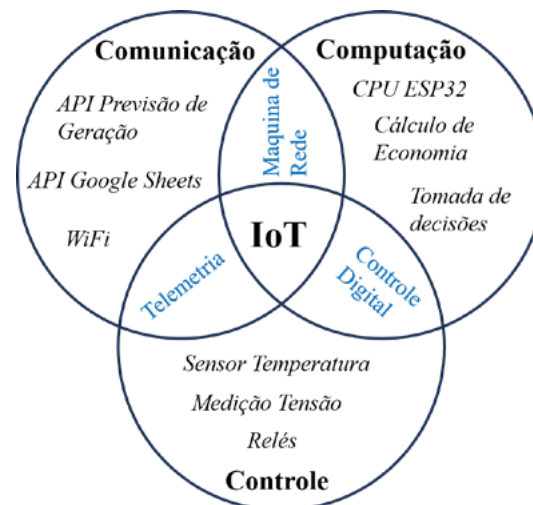
Usando uma integração entre sistemas fotovoltaicos off-grid, automação residencial e dispositivos inteligentes, este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo IoT microcontrolado para gerenciar o uso de cargas de uma residência com sistema fotovoltaico *off-grid*, baseado na previsão de produção solar no dia, no horário definido para uso de cargas, nível de prioridade das cargas e na tensão da bateria. Com essa abordagem busca-se tornar o sistema mais independente do usuário, tornando o fornecimento de energia mais confiável e a utilização das cargas mais padronizada. O trabalho tem potencial para impactar a vida de milhares de famílias. Para alcançar esses resultados, será desenvolvido um dispositivo IoT, começando pelo esquemático e escolha dos componentes, passando para o desenvolvimento da PCB e do case 3D, para montar o dispositivo e programar o seu *firmware*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O dispositivo foi baseado nas três características que definem um IoT como pode ser visto na Figura 1. O dispositivo idealizado para esse projeto conta com os três pilares que compõe um IoT, a comunicação, a computação e o controle (Rovere; Florian, 2022; Thakur; Kushwaha, 2024; Himmat *et al.*, 2022). A comunicação foi baseada em wifi, utilizando duas APIs, uma para previsão de geração solar e a outra para salvar os dados em uma planilha online. A computação foi embarcada dentro da CPU do ESP32, nela ocorre os cálculos para economia de energia e as tomadas de decisões. O controle é baseado no sensor de temperatura, na medição de tensão

da bateria, na detecção de tensão da saída do inversor e nos relés que são responsáveis por alimentar, ou seccionar as cargas.

Figura 1 - Caracterização do IoT



Fonte: elaborado pelos autores.

O desenvolvimento do dispositivo passou por várias etapas. Começou pelo esquemático do dispositivo, passou para o layout da PCB, prototipação ou produção e terminou com a materialização do firmware, como no estudo de Freire Filho (2018). Os softwares escolhidos para o desenvolvimento do device IoT foram o Kicad, para esquemático e layout da PCB e o Visual Studio Code com o PlatformIO para programação do firmware.

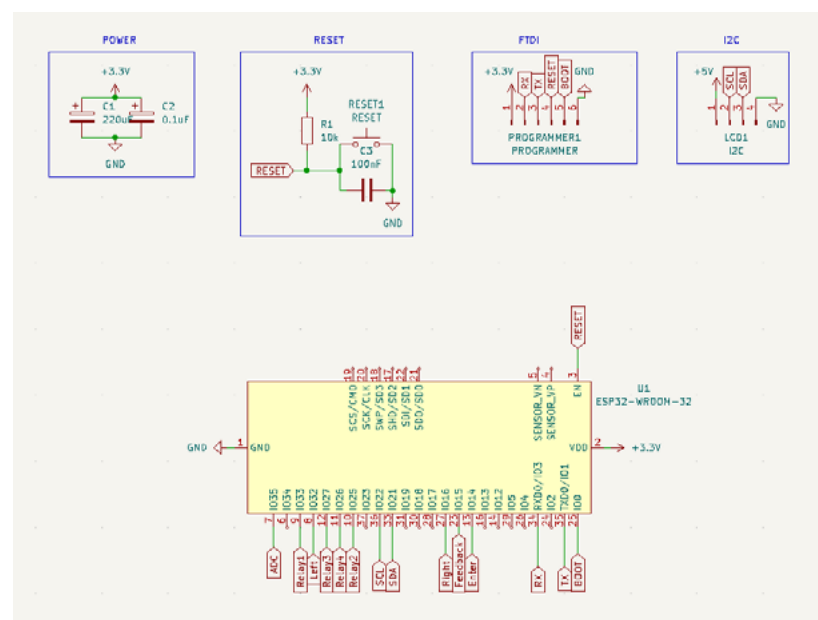
MATERIAIS

Para a elaboração do esquemático foram selecionados componentes fáceis de serem encontrados e bem documentados. Começou-se com a identificação dos módulos necessários no dispositivo, o módulo do microcontrolador, módulo de alimentação,

módulo de *feedback*, módulo dos relés, módulo do RTC, módulo dos botões e módulo de medição da bateria.

- *Módulo do microcontrolador*: o microcontrolador escolhido para o projeto foi o ESP32 WROOM, por sua versatilidade e custo, o microcontrolador possui wifi, bluetooth, dois núcleos que podem chegar a 240 MHz de clock, memória flash, barramento I2C, UART e SPI, portas ADC, PWM e GPIO's com suporte para botões *touch*. No módulo do microcontrolador foram adicionados circuitos para filtro de alimentação, reset, e programação do dispositivo, além de uma saída I2C para o display. O circuito criado no Kicad pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Módulo Microcontrolador

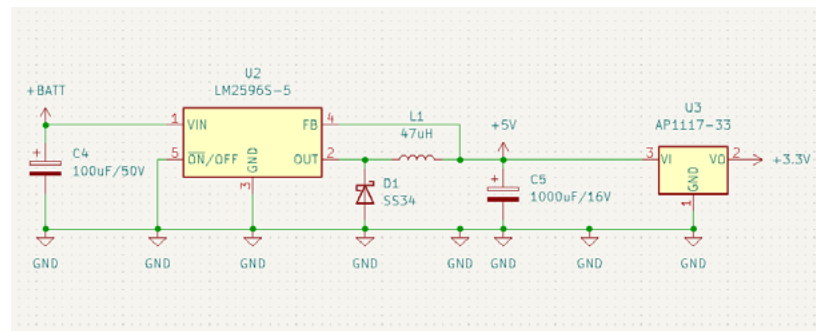


Fonte: elaborado pelos autores.

- *Módulo de alimentação*: o módulo de alimentação do dispositivo é um circuito *buck converter* baseado no LM2596- 5.0,

esse circuito é muito utilizado por criadores de PCB's, ele possui uma tensão de entrada de 7 V a 40 V, e saída fixa de 5 V, ele necessita de poucos componentes auxiliares, e possui uma frequência alta de chaveamento, melhorando a estabilidade da saída. A corrente máxima suportada pelo circuito é de 3 A, essa corrente é suficiente para alimentação do ESP32 com Wi-fi acionado e demais circuitos do dispositivo. Para complementar a fonte, é necessário usar um regulador linear AMS1117, que fornece 3,3 V para os componentes que trabalham com essa tensão. Um fator que foi levado em consideração foi a tensão de entrada de até 40 V, que possibilitou a implementação de um dispositivo que funciona com 12 V ou 24 V, permitindo uma maior flexibilidade para o IoT. A Figura 3 mostra o circuito de fonte baseado no LM2596- 5.0.

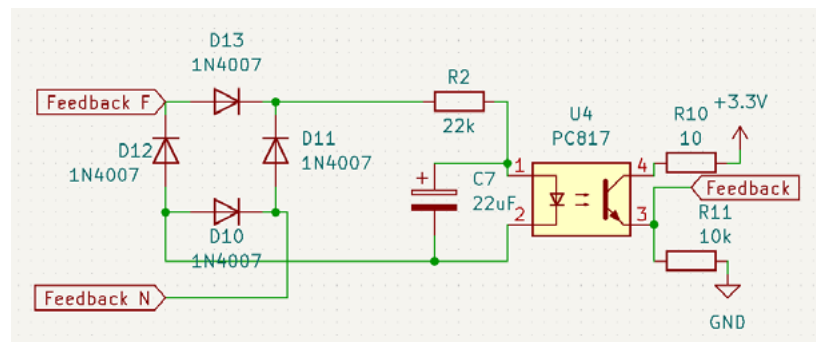
Figura 3 - Módulo de alimentação



Fonte: elaborado pelos autores.

- **Módulo de feedback:** o feedback do dispositivo é um circuito que converte a tensão de saída do inversor de 110 Vac ou 220 Vac para um sinal de 3,3 V para o ESP32 identificar que o inversor ligou. O circuito se baseia em uma ponte retificadora de onda completa, com um resistor de potência e um optoacoplador, para isolar o circuito AC do DC. A Figura 4 mostra o circuito utilizado.

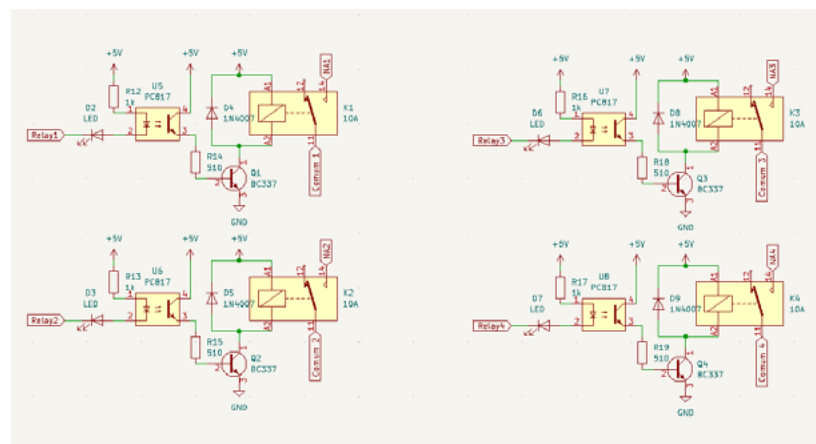
Figura 4 - Módulo feedback



Fonte: elaborado pelos autores.

- Módulo dos relés:* o módulo de relés implementado se baseia em 4 canais para controle das cargas da residência, cada canal, suporta até 10 A de corrente, o acionamento dos relés utiliza diodos de proteção, transistores, optoacopladores para isolamento dos circuitos, além de leds para identificação do status de cada relé. O módulo pode ser visto na Figura 5.

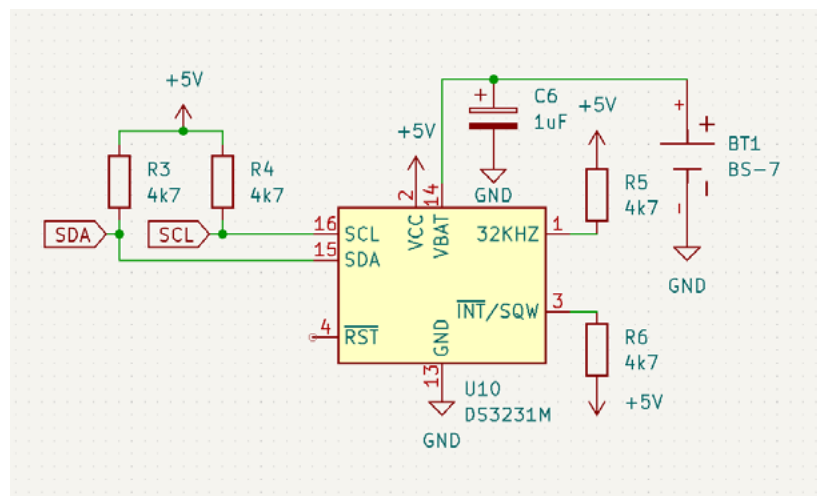
Figura 5 - Modulo Relés



Fonte: elaborado pelos autores.

- *Módulo do RTC:* RTC é a abreviação de *Real Time Clock*, ou Relógio de Tempo Real. Esse circuito se baseia na utilização de um circuito integrado DS3231, amplamente difundido para essa aplicação, ele possui uma ótima precisão, conta com uma bateria própria de 3 V, para não perder o horário quando o dispositivo não estiver alimentado. O DS3231 se comunica por meio do barramento I2C facilitando o desenvolvimento do *layout* e utilizando menos GPIO do microcontrolador, o circuito pode ser visto na Figura 6.

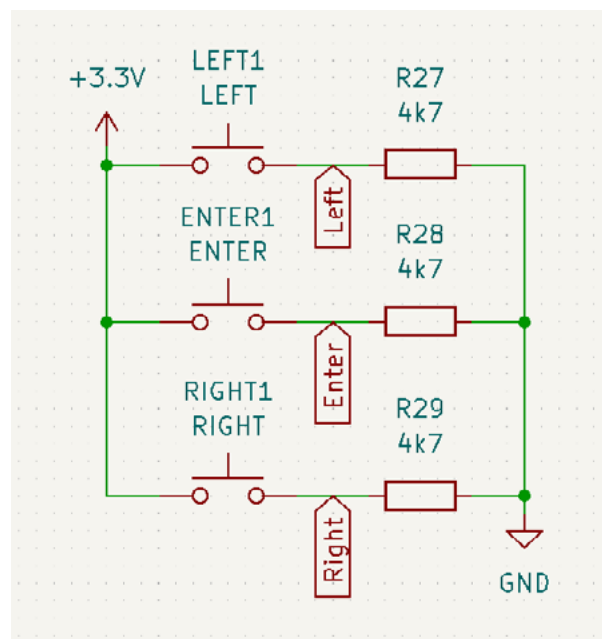
Figura 6 - Módulo RTC



Fonte: elaborado pelos autores.

- *Módulo dos botões:* Os botões de navegação do dispositivo foram agrupados em um único circuito, foram utilizados *push buttons* em ângulo, para simplificação da montagem do dispositivo, com esse tipo de montagem eles podem ser acionados diretamente na PCB, posicionando-os na borda do *layout*, o circuito dos botões é apresentado pela Figura 7.

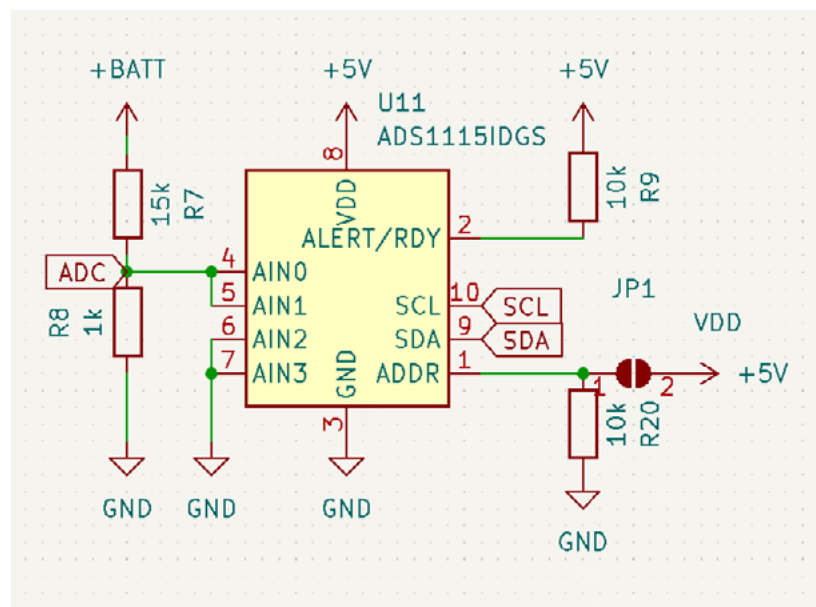
Figura 7 - Módulo dos Botões



Fonte: elaborado pelos autores.

- *Módulo de medição da bateria:* O módulo de medição da bateria é composto por um ADC modelo ADS1115, que possui uma resolução de 16 bits, com tensão máxima de leitura de 5 V. Também utiliza barramento de comunicação I2C, sendo ligado em paralelo com o RTC e Display LCD. Para adequação da faixa de tensão da bateria com o ADC foi utilizado um divisor de tensão com uma relação de 1 para 15, sendo possível realizar medição de mais de 50 V, caso que nunca vai ocorrer. É possível verificar o diagrama na Figura 8.

Figura 8 - Módulo de medição da bateria



Fonte: elaborado pelos autores.

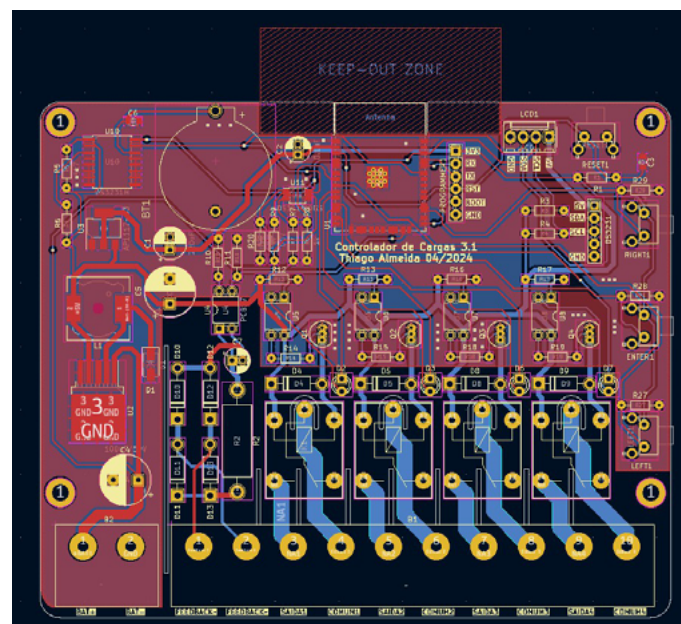
MÉTODOS

Com o esquemático pronto, foram escolhidos os *footprints* adequados para cada componente, para facilitar a montagem do dispositivo foi utilizado o máximo de componentes de furo passante (PTH), principalmente, diodos, resistores, capacitores, relés e conectores. Os CI foram de modelo SMD por não possuírem versões PTH, além de otimizar espaço na PCB. Alguns componentes não estavam presentes na biblioteca do Kicad e tiveram que ser criados, com uma ferramenta própria do *software*.

Os componentes do *device* são agrupados por módulos e devem ficar em posições estratégicas na PCB, os botões conectores

devem ficar nas bordas, circuitos que utilizam AC devem ter uma isolamento reforçada, projetando rasgos na PCB para isolar AC de DC e evitar interferência nos circuitos. As trilhas de potência tanto AC quanto DC devem ser mais largas, ou até reforçadas com estanho, para melhor condução de corrente, evitando aquecimento e perdas por efeito Joule. Foram utilizados conectores robustos modelo HB-9500 que suportam 300 V e 30 A. O resultado do Layout da PCB pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Layout da PCB

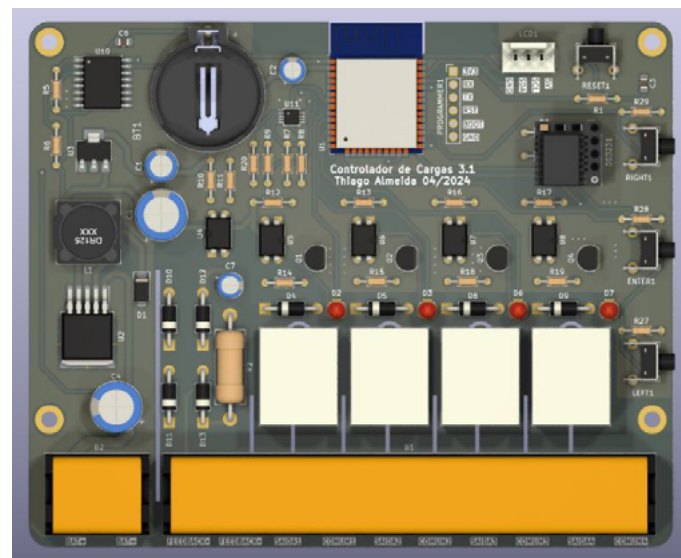


Fonte: elaborado pelos autores.

Para uma melhor noção das dimensões da placa, foi baixado todos os modelos 3D dos componentes que faltavam, como o próprio conector HB-9500, o RTC DS3231 com o conector de bateria, entre outros componentes. O resultado do modelo 3D da PCB pode ser visto na Figura 10. O modelo é renderizado no

próprio Kicad e posteriormente exportado como arquivo STEP para modelagem do case 3D.

Figura 10 - Visualização da PCB

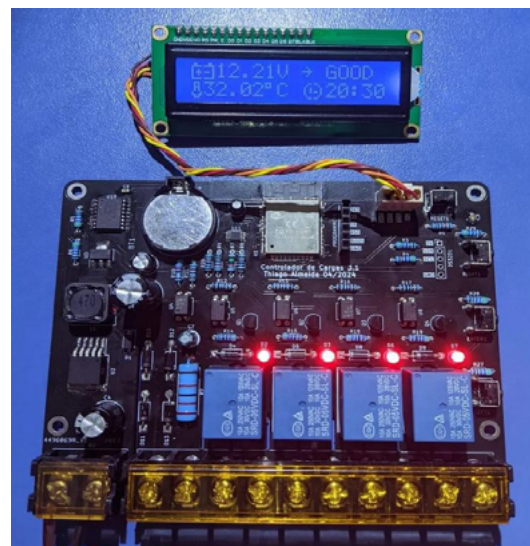


Fonte: o autor.

MONTAGEM DA PCB

A placa de circuito impresso foi exportada do software Kicad para um fornecedor Chinês chamado JLCPCB, responsável pela produção das PCB em duas camadas, com uma qualidade profissional e um custo acessível. Após as placas chegarem elas foram montadas manualmente, começando pelos componentes SMD mais baixos, passando para os mais altos e por fim os componentes PTH na mesma sequência, dos mais baixos para os mais altos. Para realizar esse trabalho foi utilizado uma estação de ar quente, e uma estação de solda. O resultado pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - PCB Montada

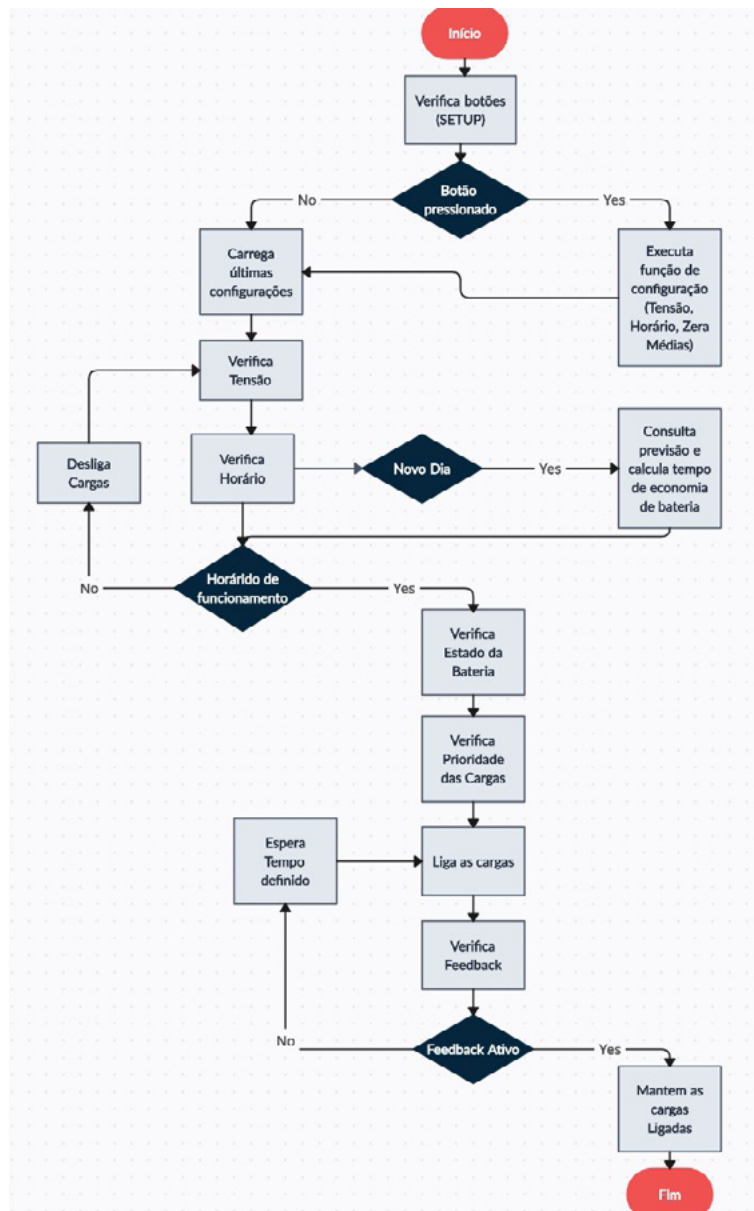


Fonte: elaborado pelos autores.

PROGRAMAÇÃO E FIRMWARE

O *firmware* do dispositivo foi desenvolvido em C/C++, e possui diversas funções pensadas para abranger todos os casos de uso possíveis, foram utilizadas diversas bibliotecas, para utilização dos módulos que compõem a placa. As bibliotecas facilitam a utilização dos módulos, sendo possível chamar funções que executem ações específicas, com parâmetros definidos, também foram criadas funções próprias para realizar algumas tarefas do dispositivo. O funcionamento do código será explicitado em forma de fluxograma, apresentado na Figura 12, para resumir e facilitar o entendimento do dispositivo, a maior parte do *firmware* foi suprimido por se tratar apenas da navegação do dispositivo feita por meio dos botões e apresentações no display, que não influenciam o entendimento da lógica.

Figura 12 - Fluxograma do firmware



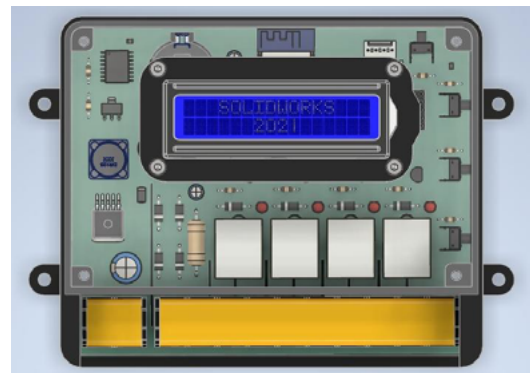
Fonte: elaborado pelos autores.

O *firmware* inicia verificando se alguma combinação de botões foi pressionada, para realizar algumas configurações do dispositivo, ou inicia com as configurações anteriores, salvas na memória flash do ESP32. Em seguida o loop principal se inicia, verificando a tensão da bateria e o horário, se o dispositivo identificar que é um novo dia, ele consulta a API de previsão de geração solar e calcula o tempo de economia que deve ser subtraído do horário de funcionamento das cargas, senão o dispositivo verifica se o horário atual é o horário de funcionamento das cargas e desliga elas se não for. Se estiver dentro do horário de funcionamento o ESP32 verifica o estado da bateria, a prioridade das cargas e se tudo estiver de acordo, liga as cargas que devem funcionar. Logo em seguida é verificado o *feedback* do inversor, se o *feedback* estiver ativo, mantém as cargas ligadas, senão desliga as cargas e espera um tempo definido para tentar religá-las. Esse *loop* fica se repetindo indefinidamente.

CASE 3D

Para acondicionar a placa, display LCD e botões, foi idealizado um case 3D no *software* Autodesk Inventor, o material escolhido foi PLA para o fundo, lateral e botões, e acrílico para fazer a frente do dispositivo, sendo assim possível proteger o display e visualizar os LED's de estado dos relés. Os arquivos STEP foram gerados, e carregados no fatiador para assim gravar no cartão SD e levar à impressora. O modelo pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Case 3D

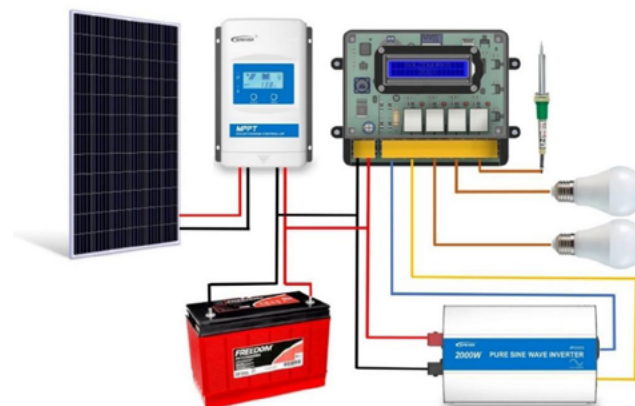


Fonte: elaborado pelos autores.

PLANEJAMENTO DOS TESTES

Para realizar o teste do dispositivo foi desenhado um esboço simplificado do diagrama de ligação, contendo as principais partes do sistema fotovoltaico *off-grid*, o dispositivo IoT e as cargas a serem utilizadas, como visto na Figura 14.

Figura 14 - Diagrama de ligação para o teste



Fonte: elaborado pelos autores.

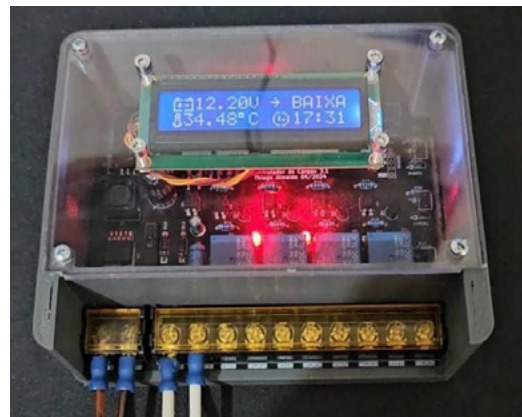
O diagrama consiste na ligação do painel fotovoltaico no controlador de carga, a bateria também é conectada ao controlador, a bateria por sua vez alimenta o inversor e o dispositivo IoT, o dispositivo IoT controla o inversor, recebe a tensão de saída do inversor e alimenta as duas lâmpadas e o ferro de solda. O dispositivo deve estar próximo o suficiente de um roteador para que a comunicação wifi fique estável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROTÓTIPO GERENCIADOR DE CARGAS

O resultado do trabalho se deu com a produção de um protótipo de dispositivo IoT para gerenciar cargas de uma residência com sistema fotovoltaico *off-grid* visto na Figura 15, O dispositivo é composto por uma PCB onde estão todos os componentes eletrônicos que compõe o circuito principal, além dos conectores para as ligações externas, uma tela LCD 16x2 com I2C, um case 3D e uma frente de acrílico. O dispositivo utiliza 2 bornes para alimentação DC de 12 V ou 24 V, dois bornes para o *feedback* do inversor, e 8 bornes para controle dos circuitos, sendo 2 para cada circuito. Para testar o dispositivo IoT foi realizada uma montagem com componentes reutilizados de um sistema fotovoltaico *off-grid*, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 15 - Protótipo final



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 16 - Montagem da estrutura do teste



Fonte: elaborado pelos autores.

A montagem de um sistema foi feita utilizando um painel solar de 250 Wp, um controlador de carga MPPT, uma bateria de 100 Ah. Como cargas foram utilizados um inversor de 500 Wp em T1, uma lâmpada de 10 W em T2, uma de 15 W em T3 e um ferro de

solda de 45 W em T4. O painel foi posicionado um angulo de 10 graus para norte, recebendo sol durante praticamente todo dia. Os dados gerados podem ser vistos nas Tabelas 1a, 1b e 1c.

Tabela 1a - Dados gerados pelo dispositivo

Linha	Data	Hora	Tensão BAT	Temp Dispositivo	Geração Estimada	Consumo Estimado	Tempo Economia	Prioridade T1	Power T1
1	28/10/2024	00:00	12,82	32,13	1651	858	00:00:00	1	5
2	28/10/2024	00:02	12,82	31,79	1651	858	00:00:00	1	5
3	28/10/2024	00:04	12,82	31,79	1651	858	00:00:00	1	5

Fonte: dados coletados pelos autores.

Tabela 1b

Linha	H. Ligar T1	H. Desligar T1	Status T1	Prioridade T2	Power T2	H. Ligar T2	H. Desligar T2	Status T2	Prioridade T3
1	08:00:00	20:00:00	0	1	10	08:00:00	20:00:00	0	1
2	08:00:00	20:00:00	0	1	10	08:00:00	20:00:00	0	1
3	08:00:00	20:00:00	0	1	10	08:00:00	20:00:00	0	1

Fonte: dados coletados pelos autores.

Tabela 1c

Linha	Power T3	H. Ligar T3	H. Desligar T3	Status T3	Prioridade T4	Power T4	H. Ligar T4	H. Desligar T4	Status T4
1	15	08:00:00	20:00:00	0	0	45	08:05:10	19:10:00	0
2	15	08:00:00	20:00:00	0	0	45	08:05:10	19:10:00	0
3	15	08:00:00	20:00:00	0	0	45	08:05:10	19:10:00	0

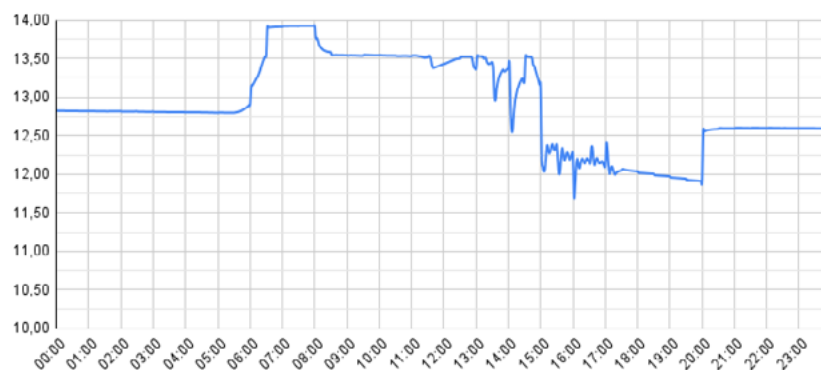
Fonte: dados coletados pelos autores.

Para coletar os dados do dispositivo foi utilizada uma API do Google Sheet como em (Ramadhan, 2024), onde são salvos a data, hora, tensão da bateria, temperatura do dispositivo, geração estimada, consumo estimado, tempo de economia calculado pelo dispositivo, prioridade do timer 1, potência no timer 1, hora de ligar timer 1, hora de

desligar timer 1, status relé 1, prioridade do timer 2, potência no timer 2, hora de ligar timer 2, hora de desligar timer 2, status relé 2, prioridade do timer 3, potência no timer 3, hora de ligar timer 3, hora de desligar timer 3, status relé 3, prioridade do timer 4, potência no timer 4, hora de ligar timer 4, hora de desligar timer 4 e status relé 4. Com os dados coletados foi plotado o Gráfico 1 relacionando a tensão da bateria com o horário para entender o funcionamento do dispositivo durante o dia.

Gráfico 1 - Gráfico da tensão da bateria pelo horário

Tensão x Horário - 28/10/2024



Fonte: dados coletados pelos autores.

O Gráfico 1 mostra alguns eventos interessantes ao decorrer do dia. De 00:00 às 06:00 tensão constante de aproximadamente 12,8 V; de 06:00 às 06:30 bateria começa a carregar chegando a 13,9 V; de 06:30 às 08:00 tensão constante de 13,9 V nenhuma carga ligada; de 08:00 às 11:30 tensão constante de 13,5 V todas as cargas ligadas; de 11:30 às 15:00 tensão variando bastante, devido a inconstância na geração; de 15:00 às 17:15 tensão variando em torno de 12,2 V que é a tensão mínima para a carga com prioridade BAIXA funcionar, dessa forma a carga 4 ficou ligando e desligando, fazendo a tensão variar em torno desse valor; de 17:15 às 20:00 tensão ficou próxima aos 12,0 V não havia mais irradiação solar no painel fotovoltaico, as 3 cargas com prioridade ALTA e baixo consumo funcionaram até o horário

definido; de 20:00 às 00:00 após as cargas desligarem a tensão da bateria se recupera e estabiliza em 12,6 V, característica normal das baterias sem carga. O Gráfico 2 apresenta os status dos relés dos temporizadores 1, 2 e 3 responsáveis por controlar o inversor e duas lâmpadas de 10 W e 15 W respectivamente. Os status podem ser 0 para relé desligado e 1 para relé ligado.

Gráfico 2 - Relação entre status Timer 1, 2, 3 e horário



Fonte: dados coletados pelos autores.

o relé 4 continuasse acionado até as 19:15 que era o horário programado. O tempo de economia acabou não sendo utilizado, pois todos os dias de teste tiveram uma geração mais alta que o consumo, um teste foi feito aumentando a configuração de potências das cargas e diminuindo a potência do painel solar, e o dispositivo calculou de forma correta o tempo que o dispositivo deveria reduzir do uso de cada equipamento, os dados iniciais são vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Teste tempo de economia

Data	Hora	Tensão BAT	Temp. Dispositivo	Geração Estimada	Consumo Estimado	Tempo Economia
29/10/2024	08:44	13,63 V	37,85 °C	671W	875W	02:15:59

Fonte: dados coletados pelos autores.

O dispositivo funcionou de maneira correta durante os dias em que esteve em teste, um fato que deve ser melhorado é que as cargas não fiquem ligando e desligando o tempo todo quando baixar o nível da bateria, seria o ideal criar um intervalo para que a carga volte a ligar. Uma bateria melhor deveria ser utilizada para melhores resultados. Isso impossibilitou a carga de T4 funcionar todo o horário definido, já que de acordo com o cálculo de consumo e previsão de geração era para tudo funcionar no período definido. Com as configurações utilizadas para o teste e a geração de energia, não foi possível verificar o dispositivo proceder calculando o tempo de economia e desligando as cargas antes, com base nesse tempo calculado.

CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que o dispositivo IoT desenvolvido é funcional para gerenciar cargas em sistemas fotovoltaicos *off-grid*. Sua funcionalidade é circunscrita à confiabilidade, eficiência e previsão

de dados de geração solar. Durante o processo, foram aplicados conhecimentos em prototipação, projeto de esquemáticos e layout de PCB. Foram utilizando componentes acessíveis e bem documentados, que facilitaram a montagem e a confiabilidade do dispositivo. A estrutura por módulos permite uma simplificação do circuito como um todo, além de deixar o projeto mais organizado. Foram implementados os subsistemas microcontrolador ESP32, alimentação estável com conversores *buck*, reguladores lineares e interfaces de controle e *feedback* bem definidas. A escolha de módulos robustos, como o RTC DS3231, o ADC ADS1115 e a integração eficiente do barramento I2C, demonstrou um planejamento cuidadoso e eficiente.

O uso do Kicad para criação dos esquemáticos, layout da PCB e renderização do modelo 3D foi crucial para a prototipagem e produção. A exportação e fabricação por uma fornecedora profissional garantiram um produto final de alta qualidade, enquanto a montagem manual seguiu métodos estruturados para assegurar a integridade do circuito. Além disso, o firmware desenvolvido em C/C++ abrangeu as funcionalidades esperadas com o uso de bibliotecas específicas, possibilitando um gerenciamento completo das cargas e a coleta de dados precisos, que foram armazenados em uma API integrada ao *Google Sheets*. O case 3D projetado não apenas protege o dispositivo como também oferece uma interface amigável para o usuário.

Os resultados obtidos confirmam o sucesso do projeto. O protótipo não apenas atende aos requisitos propostos, mas também apresenta potencial para aplicações futuras no gerenciamento de sistemas fotovoltaicos, o que faz dele uma solução prática e sustentável para automação residencial em sistemas de energia renovável. Por essa razão, recomendam-se os seguintes estudos para aprofundamento das descobertas apresentadas por este estudo: 1) análise do impacto do clima adverso na geração de painéis fotovoltaicos, 2) estudo sobre o comportamento de uma bateria estacionária relacionando a curva de tensão com a carga da bateria e corrente drenada e 3) estudos sobre os modelos para controle de cargas residenciais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto Aranouá executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., usando recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, estando sua divulgação e publicidade em conformidade com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

ACIK, S.; KOSUNALP, S. A hybrid energy prediction model for resource-constrained IoT devices with energy harvesting. **IEEE Sensors Journal**, v. 25, n. 15, p. 30074-30085, 2025. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2025.3583496>.

AL-NOFLI, M. A. Y.; AL-SHAHRI, A. S. A.; SANTHAPPAN, J. S. Techno-economic and environmental investigation on the implementation of small-scale grid connected photovoltaic system for a city in Oman. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2024. p. 030009. <https://doi.org/10.1063/5.0193721>.

ARIFIN, Z. *et al.* Economic feasibility investigation of on-grid and off-grid solar photovoltaic system installation in central Java. **International Journal of Energy Production and Management**. 2023. Vol. 8. Iss. 3, v. 8, n. 3, p. 169-175, 2023. <https://doi.org/10.18280/ijepm.080305>.

CARDOZO, L. F.; FERREIRA, A. F. Automação residencial com arduino. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 2, p. 622- 634, 2023. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i2.8522>.

CIBELLA, R. Z. **Adsorção de lítio no material bidimensional GE2SSE**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

DAI, C. *et al.* Improvement of building energy flexibility with PV battery system based on prediction and load management. In: **Building Simulation**. Beijing: Tsinghua University Press, 2025. p. 65-85. <https://doi.org/10.1007/s12273-024-1216-4>.

FREIRE FILHO, C. C. **Módulo interruptor IoT-uma abordagem prática no processo de desenvolvimento de um produto eletrônico**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

GONÇALVES, R, S. *et al.* Mobile robot for debris removal from high voltage power lines. *In: 2022 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2022 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2022 Workshop on Robotics in Education (WRE)*. IEEE, 2022. p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/LARS/SBR/WRE56824.2022.9995816>.

HIMMAT, M. *et al.* Review on the current state of the internet of things and its extension and its challenges. **European Journal of Information Technologies and Computer Science**, v. 2, n. 2, p. 1-5, 2022. <https://doi.org/10.24018/compute.2022.2.2.58>.

HIPÓLITO, J. G.; SILVA, M. J. Automação residencial com arduino. **Revista Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade na Engenharia Elétrica**, v. 1, n. 1, p. 118-139, 2018. <https://doi.org/10.1002/joe.22233>.

MOURA, D. M. D. **Viabilidade de implementação de sistema fotovoltaico off grid em residências sem acesso a rede de distribuição de energia elétrica**: estudo de caso aos ribeirinhos no Município de Santarém-PA. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras.

OLIVEIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. H.; GOMES, R. O. Energia solar: um passo para o crescimento. **REGRAD-Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM**, v. 10, n. 01, p. 377-389, 2017.

RAMADHAN, M. D. *et al.* Prototype of moisture content meter in grain using Esp32 based on spreadsheet. **Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing**, v. 6, n. 2, p. 502-513, 2024. <https://doi.org/10.47709/cnahpc.v6i2.3530>.

ROBERT, D.; NORJALI, R.; MASHORI, S. The design and development of hybrid pico hydro-solar fountain for power generation. **Progress in Engineering Application and Technology**, v. 4, n. 1, p. 300-311, 2023.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista brasileira de energia solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016. <https://doi.org/10.59627/rbens.2016v7i2.157>.

ROVERE, L. D.; FLORIAN, F. Estudo sobre segurança e privacidade na internet das coisas (IOT). **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 6, p. e361601-e361601, 2022. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i6.1601>.

THAKUR, J.; KUSHWAHA, B. P. Artificial intelligence in marketing research and future research directions: Science mapping and research clustering using bibliometric analysis. **Global Business and Organizational Excellence**, v. 43, n. 3, p. 139-155, 2024.

TÓFOLI, R. J. **Casa inteligente-sistema de automação residencial**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas). Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis.

VISHNUPRAKASH, B. *et al.* Innovative power strategies for cubesats: enhancing solar energy capture and efficient storage solutions. **Acceleron Aerospace Journal**, v. 4, n. 1, p. 786-816, 2025. <https://doi.org/10.61359/11.2106-2501>.

SUMÁRIO

14

Thiago Martins Maia

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

ANÁLISE DE DADOS DE SAÚDE EM UM SISTEMA IOT UTILIZANDO UMA SMARTTV TIZEN E A BIBLIOTECA MICROSOFT ML.NET

SUMÁRIO

RESUMO:

O monitoramento de saúde por dispositivos vestíveis tornou-se uma prática cada vez mais comum, permitindo a coleta e análise de dados capazes de transformar a qualidade de vida dos usuários. Este trabalho busca ampliar as possibilidades dessas análises, utilizando uma arquitetura IoT que conecta o dispositivo coletor a SmartTVs Tizen. Essas SmartTVs têm a função de receber e classificar os dados coletados por meio da biblioteca Microsoft ML.NET. A metodologia proposta almeja aprimorar a acessibilidade e a usabilidade de dispositivos interconectados para a análise de dados de saúde, além de abrir caminho para novas aplicações nesse campo.

Palavras-chave: Análise de dados de saúde, Dispositivos vestíveis, SmartTV Tizen, Microsoft ml.net, Saúde digital.

INTRODUÇÃO

No cotidiano, as pessoas têm acesso a uma variedade cada vez maior de dispositivos interconectados (Farooq; Bashir, 2025; Awosiku *et al.*, 2025), como os eletrônicos domésticos e os dispositivos vestíveis (Infant *et al.*, 2025; Arora; Sharma, 2025; Danish *et al.*, 2025). Estes dispositivos vestíveis possuem a habilidade de coletar dados de saúde dos usuários, enquanto os eletrônicos, como as SmartTV, são capazes de processar e exibir essas informações de maneira detalhada e acessível (Hong *et al.*, 20216). A integração entre dispositivos vestíveis e SmartTV cria uma sinergia poderosa, permitindo o monitoramento constante da saúde e a visualização dos dados de forma interativa e informativa. Essa abordagem não só facilita o acompanhamento do bem-estar físico, mas também encoraja hábitos de vida mais saudáveis (Sun, 2025; Wirtz *et al.*, 2025).

O sistema operacional Tizen, utilizado nas SmartTVs, é baseado em Linux e oferece suporte para desenvolvimento em linguagens como HTML e C# (Chandrashekar *et al.*, 2021). Este sistema é conhecido por sua flexibilidade e robustez na integração de dispositivos IoT (Majchrowicz; Duch, 2021; Salkanovic *et al.*, 2024). No entanto, o suporte para algoritmos de aprendizado de máquina no Tizen é limitado a TensorFlow e TensorFlow Lite (Ham *et al.*, 2022), duas populares bibliotecas de aprendizado de máquina que facilitam o desenvolvimento e a implementação de modelos complexos. A biblioteca Microsoft ML.NET expande essas possibilidades ao oferecer suporte a mais algoritmos de aprendizado de máquina e aproveitar a compatibilidade com .NET do Tizen.

O Microsoft ML.NET é uma biblioteca de aprendizado de máquina que permite desenvolver e treinar modelos preditivos com grande eficácia (Thatavarthi, 2022; Gangula; Gangula, 2025; Rosca; Stancu, 2024). Os algoritmos suportados são: a) LightGBM, um framework de aprendizado de máquina baseado em árvores de

decisão que utiliza o método de boosting, projetado para ser altamente eficiente e escalável, capaz de lidar com grandes volumes de dados e fornecer resultados rápidos e precisos (Banas, 2024); b) FastForest, um algoritmo baseado em Random Forest que cria múltiplas árvores de decisão e utiliza a média das previsões para melhorar a precisão do modelo; c) FastTree, um algoritmo baseado em Gradient Boosting Decision Trees (GBDT) que constrói árvores de decisão em sequência para corrigir erros das árvores anteriores; d) LBFSGS, um algoritmo de otimização utilizado para ajustar os parâmetros de modelos de aprendizado de máquina, projetado para lidar com grandes volumes de dados e memória limitada; e) SDCA, algoritmo de otimização baseado no método de coordenação dual estocástica, que utiliza amostras aleatórias dos dados para atualizar os parâmetros do modelo.

Ao integrar o ML.NET ao Tizen, torna-se possível criar aplicações mais versáteis e poderosas, capazes de realizar inferências em tempo real e proporcionar uma experiência interativa e informativa para os usuários. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema IoT que demonstrasse como é possível utilizar uma SmartTV Tizen para análise de dados de saúde. O sistema permite a classificação desses dados de forma eficiente utilizando gráficos visuais e integrando a biblioteca Microsoft ML.NET. A proposta visa melhorar a acessibilidade e usabilidade da conexão entre a SmartTV e o smartwatch, proporcionando uma técnica robusta de visualização e classificação de dados de saúde dos usuários.

METODOLOGIA DA PESQUISA

A linguagem C# foi escolhida tanto para a construção da aplicação na TV quanto para o treinamento do modelo,

permitindo o desenvolvimento da interface e dos módulos internos necessários para a comunicação com a nuvem e a inferência dos dados do modelo treinado.

ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do sistema conecta dados coletados por um smartwatch e armazenados na nuvem a uma aplicação Tizen em SmartTVs. Esta aplicação gera gráficos para visualização e classifica o tipo de atividade física utilizando um modelo preditivo treinado pela biblioteca Microsoft ML.NET. Os dados de saúde coletados pelo smartwatch são armazenados na nuvem e, em seguida, transmitidos para a aplicação Tizen nas SmartTVs. A figura 1 ilustra o processo de comunicação desses dados.

Figura 1 - Comunicação entre SmartWatch e SmartTV em um Sistema IoT



Fonte: elaborado pelos autores.

O desenvolvimento principal deste trabalho ocorre após a coleta de dados e disponibilização na nuvem. A aplicação na SmartTV é responsável por gerar gráficos para visualização e classificar o tipo de atividade física utilizando um modelo preditivo treinado pela biblioteca Microsoft ML.NET, conforme mostrado na figura 2.

Figura 2 - Módulos da Aplicação Tizen

Fonte: elaborado pelos autores.

DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO TIZEN

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizada a IDE Visual Studio 2022, que possui suporte para desenvolvimento de aplicações C#. Para o desenvolvimento de aplicação Tizen, foi necessário adicionar um complemento chamado Visual Studio Tools for Tizen, que fornece ferramentas para compilação e instalação de aplicações diretamente do computador para a TV. A versão do sistema operacional da TV utilizada é o Tizen 6.0 de 2021. As aplicações desenvolvidas para esta versão são compatíveis com as TVs dos anos seguintes, mas não funcionarão em versões anteriores, pois estas não são capazes de atualizar o sistema operacional para a versão 6.0 ou superior. A geração de gráficos na aplicação é feita utilizando a biblioteca Microcharts, que possui uma variedade de tipos de gráficos e pode ser incluída numa aplicação Tizen e embarcada na TV nativamente. Os dados que a aplicação exibe nos gráficos vem de respostas de requisições REST para a nuvem e estes dados são armazenados temporariamente naquela instância da aplicação, sendo necessário

que eles sejam requisitados sempre que a aplicação for iniciada para não consumir muito espaço de armazenamento da TV.

UTILIZAÇÃO DA BIBLIOTECA MICROSOFT ML.NET

Os requisitos utilizados para a classificação de dados dentro da aplicação foram: instalar a biblioteca ML.NET no computador onde o treinamento foi realizado. O treinamento, por sua vez, gera um modelo em C# que precisa ser consumido pela aplicação. Para que a aplicação consiga utilizar este modelo treinado, uma intervenção no código é necessária, uma vez que a biblioteca ML.NET não está presente nativamente na TV. O código apresentado na Figura 3 detalha os passos necessários para incluir uma biblioteca na TV e utilizá-la na aplicação em execução, onde os assemblies requisitados não estão no caminho de pesquisa padrão do .NET, mas sim em um diretório específico (neste caso, o diretório do aplicativo). Ao registrar o manipulador de eventos, a aplicação consegue resolver e carregar dinamicamente esses assemblies quando necessário. É importante destacar que apenas esta aplicação terá acesso à biblioteca; portanto, será necessário importar a biblioteca em cada novo projeto.

Figura 3 - Trecho de código que permite a instalação de novas bibliotecas

```
AppDomain.CurrentDomain.AssemblyResolve += (object s, ResolveEventArgs eventArgs) =>
{
    var appDir = IO.Path.GetDirectoryName(typeof(Program).Assembly.Location);
    var assemblyName = eventArgs.Name.Split(',')[0];
    var assemblyPath = IO.Path.Combine(appDir, assemblyName + ".dll");
    return IO.File.Exists(assemblyPath) ? Assembly.LoadFile(assemblyPath) : null;
};
```

Fonte: elaborado pelos autores.

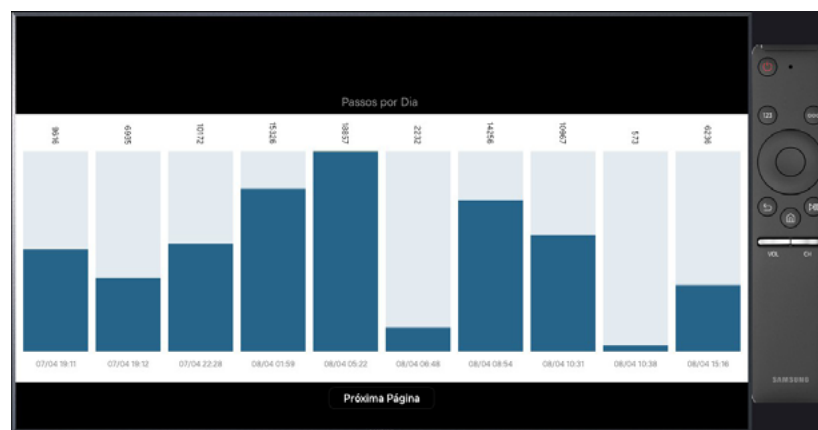
O treinamento ocorreu em um ambiente Windows, onde o ML.NET identificou o algoritmo mais eficaz. Posteriormente, o modelo foi integrado à aplicação Tizen para possibilitar a inferência em tempo real dos dados do smartwatch.

RESULTADOS

Para validar a funcionalidade da aplicação Tizen na SmartTV, foi realizada uma série de testes de simulação de coleta de dados. Utilizando um smartwatch, foram coletados dados sobre atividades físicas dos usuários, incluindo tempo de atividade, distância percorrida, energia queimada, batimentos cardíacos, número de passos e nome do dispositivo. Esses dados foram transmitidos à aplicação na TV para verificar a capacidade de recepção e processamento.

Com os dados simulados, a aplicação na SmartTV foi testada quanto à sua capacidade de análise e visualização. Através dos gráficos gerados pela biblioteca Microcharts, os testes focaram em exibir informações detalhadas e úteis ao usuário, como passos por dia, calorias queimadas, frequência cardíaca e tempo de atividade. A figura 4 mostra como o número de passos por dia pode ser exibido ao usuário. Este gráfico permite que o usuário visualize seu progresso diário, o que pode incentivar a manutenção de um estilo de vida ativo, e proporciona uma comparação entre os dias.

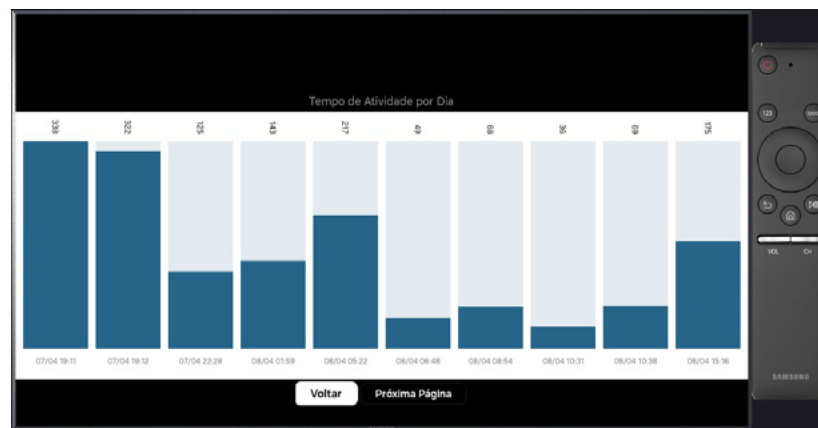
Figura 4 - Gráfico de Passos por Dia



Fonte: dados coletados pelos autores.

O tempo de atividade por dia é exibido no gráfico da figura 5, e permite que os usuários acompanhem seu desempenho diário de forma detalhada. Este gráfico facilita a visualização do tempo de atividade, e ajuda os usuários a identificarem padrões e ao mesmo tempo monitorar a eficácia de suas rotinas físicas.

Figura 5 - Gráfico de Tempo de Atividade por Dia



Fonte: dados coletados pelos autores.

A figura 6 detalha como a frequência cardíaca por dia pode ser exibida ao usuário. O gráfico permite que o usuário acompanhe suas variações diárias de frequência cardíaca e fornece informações que podem ser usadas para decisões sobre o estado físico ao longo do tempo.

Figura 6 - Gráfico de Tempo de Atividade por Dia



Fonte: dados coletados pelos autores.

Outro dado que pode ser usado pelo usuário para analisar o seu desempenho é saber a quantidade de calorias queimadas por dia, que é representado pela figura 7, onde é possível ver as variações de acordo com a atividade física realizada com o passar dos dias.

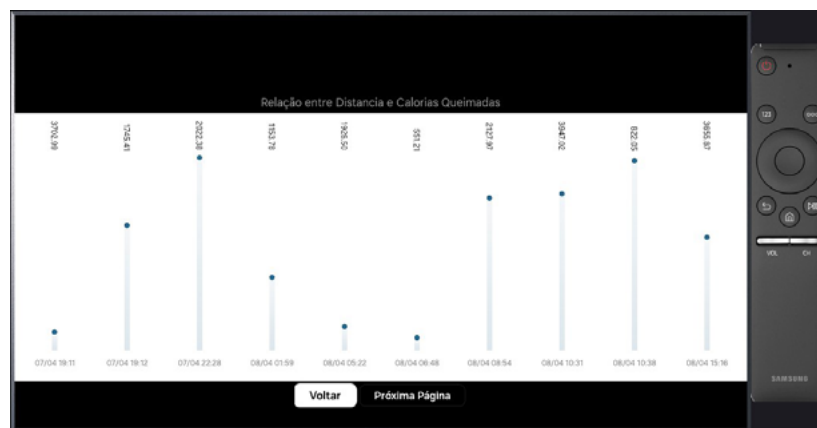
Figura 7 - Calorias Queimadas por Dia



Fonte: dados coletados pelos autores.

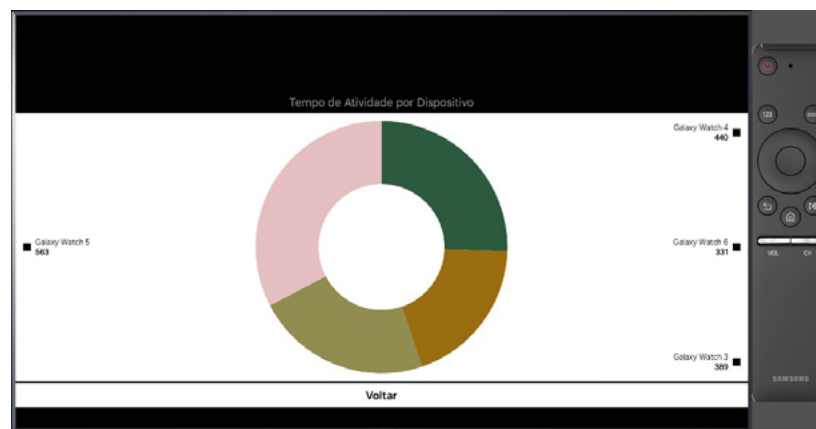
O gráfico representado pela figura 8 abaixo, demonstra a relação entre a distância percorrida e as calorias queimadas mas também mostra que a aplicação pode exibir diferentes tipos de gráficos como o de dispersão.

Figura 8 - Relação entre Distância e Calorias Queimadas



Fonte: dados coletados pelos autores.

Como último exemplo de visualização dos dados, temos um gráfico de pizza que demonstra quanto tempo em minutos o usuário utilizou um dispositivo, caso ele tenha mais de um, o que pode ser visto na figura 9.

Figura 9 - Tempo de Atividade por Dispositivo

Fonte: dados coletados pelos autores.

A aplicação demonstrou ser capaz de realizar inferências em tempo real utilizando o modelo preditivo treinado pela biblioteca Microsoft ML.NET. Os dados coletados foram classificados e apresentados de maneira clara, facilitando o monitoramento e a melhoria da saúde física dos usuários. Os resultados dos testes indicaram que a aplicação é eficaz na análise e na visualização de dados de atividades físicas, promovendo um estilo de vida mais saudável.

CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

Para validar a possibilidade de aplicar um modelo treinado aos dados coletados pelo smartwatch, foi realizado o treinamento utilizando uma grande quantidade de dados rotulados conforme o tipo de atividade compatível com o nível de exercício capturado pelo smartwatch em um determinado dia. A tabela 1 mostra os dados que foram obtidos do smartwatch e utiliza a primeira coluna como o rótulo que foi utilizado para classificar as atividades físicas dos usuários da aplicação.

Tabela 1 - Dados utilizados para treinamento do modelo

Tipo de Atividade (Rótulo)	Distância (Km)	Tempo (min)	Calorias	Passos	Média de Batimentos Cardíacos
Livre	9.3	77	123		112.5
Livre	3.44	96	55		111.0
Bicicleta	6.34	85	33		95.0
Caminhada	7.91	42	82	1571.0	83.0
Natação Livre	8.99	36	131		138.0
Bicicleta	5.47	117	144		142.0
Biciclete	6.28	66	378		85.0
Corrida Externa	2.94	26	430	7618.0	145.0
Corrida (Esteira)	2.87	26	465	2790.0	142.0
Natação	3.91	23	99		132.5

Fonte: dados coletados pelos autores.

O treinamento do modelo foi realizado no computador, onde a biblioteca ML.NET avaliou a eficácia de vários algoritmos, selecionando aquele com maior taxa de acurácia. O algoritmo escolhido foi o FastTree, que atingiu uma acurácia superior a 85%. Esse modelo foi então empacotado dentro da aplicação Tizen e utilizado na TV, exibindo informações ao usuário, classificando os dados coletados e compatíveis com diferentes tipos de exercício.

Tabela 2 - Resultado do treinamento da biblioteca ML.NET

Algoritmo	Acurácia	Duração
FastTree	0.8723	2.1180
LightGbm	0.8566	0.2290
FastForest	0.8497	2.6020
SDCA	0.2810	43.8030
LBFSGS	0.6805	0.9670

Fonte: dados coletados pelos autores.

A tabela 2 detalha os resultados do treinamento num período de 60 segundos. O algoritmo FastTree obteve uma acurácia de 87,23% e uma duração de 2.1180 segundos, e se destacou pela maior eficácia na classificação dos dados. O algoritmo LightGbm, por sua vez, apresentou uma acurácia de 85,66% e uma duração significativamente menor, de 0.2290 segundos, e demonstrou rapidez na execução. Podemos destacar também o FastForest, que atingiu 84,97% em 2.6020 segundos.

O smartwatch coleta uma variedade de dados sobre a atividade física dos usuários, incluindo tempo de atividade, distância percorrida, energia queimada, batimentos cardíacos, número de passos e nome do dispositivo. Esses dados são analisados e visualizados por meio de gráficos na aplicação Tizen em SmartTVs, que mostram relações importantes como passos por dia e calorias queimadas. A classificação dos dados é realizada utilizando um modelo preditivo treinado pela biblioteca Microsoft ML.NET. Após avaliar a eficácia dos algoritmos, o modelo com maior taxa de acurácia foi integrado à aplicação Tizen, permitindo a inferência em tempo real dos dados do smartwatch. Essa integração demonstra a viabilidade de utilizar modelos preditivos para análise de dados de saúde em tempo real.

Os resultados indicam que a aplicação pode classificar os dados coletados e fornecer informações úteis sobre as atividades físicas dos usuários. A utilização da TV como plataforma para visualização e análise dos dados facilita o monitoramento e a melhoria da saúde física dos usuários, promovendo um estilo de vida mais saudável.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a aplicação Tizen na SmartTV é capaz de realizar inferências em tempo real utilizando o modelo

preditivo treinado pela biblioteca Microsoft ML.NET. Os dados coletados pelo smartwatch foram classificados com uma precisão superior a 85%, utilizando o algoritmo FastTree. A funcionalidade na TV foi validada através de testes de simulação, onde a aplicação exibiu informações detalhadas e úteis ao usuário, como passos por dia, calorias queimadas, frequência cardíaca e tempo de atividade. Os resultados obtidos conectam-se diretamente ao objetivo do artigo, que é demonstrar a viabilidade de utilizar uma SmartTV Tizen para análise de dados de saúde. A integração entre o smartwatch e a SmartTV, utilizando a biblioteca Microsoft ML.NET, mostrou-se eficaz na classificação e visualização dos dados de atividades físicas dos usuários. Este avanço tem um impacto significativo na área de saúde digital, promovendo um estilo de vida mais saudável e facilitando o monitoramento constante da saúde dos usuários.

Para aprimorar ainda mais a aplicação, sugere-se explorar a utilização de outros dispositivos vestíveis além do smartwatch, como pulseiras de fitness e monitores de pressão arterial. Além disso, a implementação de modelos de machine learning mais avançados e específicos para diferentes tipos de dados de saúde pode aumentar a precisão e a funcionalidade da aplicação.

AGRADECIMENTOS

Este artigo é resultado do projeto de pesquisa e desenvolvimento ARANOUÁ financiado pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda nos termos da Lei Federal nº 8.387/1991, de acordo com o art. 21 do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

- ARORA, D.; SHARMA, O. Fog Computing in healthcare: Enhancing security and privacy in distributed systems. *In: AGRAWAL, R. et al. (Eds.). **Artificial intelligence and cybersecurity in healthcare**. Hoboken: Wiley, p. 57-84, 2025. <https://doi.org/10.1002/9781394229826.ch3>.*
- AWOSIKU, O. V. *et al.* Role of digital health technologies in improving health financing and universal health coverage in Sub-Saharan Africa: a comprehensive narrative review. **Frontiers in Digital Health**, v. 7, p. 1391500, 2025. <https://doi.org/10.3389/fgth.2025.1391500>.
- BANAS, R. An applied approach to predicting petrophysical log data with Microsoft ML.Net regressors. *In: **SPWLA Asia Pacific Technical Symposium**. SPWLA, 2024. p. SPWLA-APRC24-17.*
- DANISH, J. *et al.* Integrating IoT in healthcare systems: A socio-technical approach to improving healthcare delivery in Afghanistan. **APLIKATIF: Journal of Research Trends in Social Sciences and Humanities**, v. 4, n. 1, p. 65-86, 2025. <https://doi.org/10.59110/aplikatifv4i1.566>.
- FAROOQ, F.; BASHIR, I. Bridging the digital divide: Accessibility and inclusivity strategies in 5G/6G Technology. *In: MIRYALA, R. K. et al. (Eds.). **5G/6G Advancements in Communication Technologies for Agile Management**. Hershey: IGI Global, 2025. p. 51-82.*
- HAM, M. *et al.* Toward among-device AI from on-device AI with stream pipelines. *In: **Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice**. 2022. p. 285-294. <https://doi.org/10.1145/3510457.3513026>.*
- HONG, J. *et al.* Service modeling for situation-aware communication method decision. *In: **International Conference of Design, User Experience, and Usability**. Cham: Springer, 2016. p. 36-44.*
- INFANT, S. S. *et al.* Emerging biomedical technologies: Clinical implications and ethical considerations in modern healthcare. **Benha Medical Journal**, v. 42, n. 10, p. 52-70, 2025. [10.21608/bmfj.2025.399809.2512](https://doi.org/10.21608/bmfj.2025.399809.2512).

MAJCHROWICZ, M.; DUCH, P. Analysis of tizen security model and ways of bypassing it on smart tv platform. **Applied Sciences**, v. 11, n. 24, p. 12031, 2021. <https://doi.org/10.3390/app112412031>.

SUN, Q. Design and development of intelligent physical health assessment system for college students based on machine learning algorithms. *In: 2025 Third International Conference on Networks, Multimedia and Information Technology (NMITCON)*. IEEE, 2025. p. 1-7. <https://doi.org/10.1109/NMITCON65824.2025.11188391>.

THATAVARTHI, N. L. S. Developing AI and ML solutions with ML.Net. **Journal of Artificial Intelligence & Cloud Computing**, v. 358, p. 2-3, 2022. <https://doi.org/10.47363/JAICC/2022>.

WIRTZ, J. *et al.* The healthy aging and service firms: the promise of smart technologies. **Journal of Service Management**, 2025. <https://doi.org/10.1108/JOSM-10-2024-0426>.

CHANDRASHEKAR, A.; KUMAR, P. V.; CHANDAVARKAR, B. R. Comparative analysis of modern mobile operating systems. *In: 2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE, 2021. p. 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT51525.2021.9580093>.

SALKANOVIC, A. *et al.* A sensor-fusion-based experimental apparatus for collecting touchscreen handwriting biometric features. **Applied Sciences**, v. 14, n. 23, p. 11234, 2024. <https://doi.org/10.3390/app142311234>.

GANGULA, A. K.; GANGULA, A. R. Leveraging Microsoft. NET core for data mining applications. **International Journal on Science and Technology**, v. 16, n. 2, 2025. <https://doi.org/10.71097/IJSAT.v16.i2.5506>.

ROSCA, C.-M.; STANCU, A. Earthquake prediction and alert system using IoT infrastructure and cloud-based environmental data analysis. **Applied Sciences**, v. 14, n. 22, p. 10169, 2024. <https://doi.org/10.3390/app142210169>.

SUMÁRIO

15

Victor Duarte Nascimento

Hugo Alves Velozo

Vanderson de Lima Reis

Alyson de Jesus dos Santos

Vitor Bremgartner da Frota

Daniel Nascimento-e-Silva

MONITORAMENTO E ACIONAMENTO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR VIA IOT:

**UMA SOLUÇÃO PARA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM AMBIENTES ESCOLARES**

SUMÁRIO

RESUMO:

O presente estudo explora a aplicação da Internet das Coisas (IoT) e automação inteligente no monitoramento e controle de ambientes climatizados baseando-se em consultas de agendamentos, visando a otimização do consumo energético em espaços como laboratórios. O objetivo foi desenvolver um sistema automatizado que controla aparelhos de ar-condicionado com base na presença detectada por sensores PIR e nos agendamentos registrados em um sistema web. O método consistiu na construção do hardware com ESP32, relé e sensores PIR, programado no Arduino IDE para comunicação e envio de notificações via Telegram Bot API. Foi desenvolvido um frontend web em Flutter para gerenciamento de agendamentos e visualização de dados, seguido de testes unitários dos sensores, relés e integração entre o sistema embarcado e o banco de dados antes da validação do sistema completo em ambiente controlado. Os resultados demonstraram o bom funcionamento dos sensores PIR, a ativação dos relés e a integração eficaz entre o hardware e o software, permitindo consultas rápidas aos agendamentos e o envio de dados em tempo real. Esses testes iniciais confirmaram a viabilidade do sistema para o controle eficiente dos ambientes. O sistema alcançou a automação do controle de ambientes, com sucesso nas funcionalidades testadas, mas ainda depende de validações em ambientes reais para uma confirmação completa de seu desempenho. O estudo visa contribuir oferecendo uma solução eficiente e acessível para o controle de ambientes climatizados, promovendo o uso consciente de energia. O sistema tem potencial para ser aplicado em diversos contextos, com foco na redução do desperdício e na automação inteligente de ambientes.

Palavras-chave: Automação Inteligente, Controle de Climatização, Monitoramento de Ambiente, Internet das Coisas.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções de automação e eficiência energética tem impulsionado a busca por tecnologias que otimizem o uso de recursos, como em ambientes controlados como laboratórios, escritórios e outros espaços comerciais. O controle eficiente de dispositivos como ar-condicionado, que representam uma parte significativa do consumo de energia nesses ambientes, torna-se importante para reduzir o desperdício de energia e melhorar a sustentabilidade das operações. A automação inteligente, junto ao uso de sensores de presença, permite gerenciamento mais dinâmico e eficiente desses dispositivos, ajustando seu funcionamento conforme a necessidade real de ocupação dos ambientes (Sarri Junior *et al.*, 2020; Silveira, 2021).

Nos últimos anos, a integração de microcontroladores como o ESP32 com sensores PIR (infravermelho passivo) tem sido muito explorada em projetos de automação, devido à sua capacidade de detectar a presença de indivíduos e ativar ou desativar dispositivos de forma automática. Esses sensores têm se mostrado eficazes em sistemas de controle de iluminação, sendo acionados para regular o ambiente de maneira mais eficiente, garantindo que os dispositivos, como lâmpadas, funcionem apenas quando necessário (Santos, 2020; Carvalho, 2024). Além disso, o desenvolvimento de plataformas web para controle remoto e monitoramento em tempo real tem sido uma tendência crescente, permitindo aos usuários interagirem com os sistemas de automação de maneira prática e intuitiva (Pantoja, 2023; Barros; Fonseca, 2024).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema inteligente para monitoramento e controle de ambientes climatizados, utilizando sensores PIR para detectar a presença de pessoas e um microcontrolador ESP32 para gerenciar a ativação ou desativação do ar-condicionado, com base em agendamentos e na presença

detectada. Além disso, o sistema será integrado a uma plataforma web que permitirá ao usuário consultar agendamentos, importar dados de forma automatizada e monitorar o uso dos laboratórios, visualizando gráficos e métricas sobre o tempo de operação dos dispositivos. Pesquisas recentes têm mostrado a eficácia de sistemas semelhantes na redução de consumo de energia e na promoção de ambientes mais sustentáveis e eficientes (Silveira, 2024; Carvalho *et al.*, 2024). Este trabalho busca contribuir para o avanço dessas tecnologias, explorando a integração de componentes de baixo custo e alto desempenho, como o ESP32 e sensores PIR, para otimizar o controle de dispositivos em ambientes específicos.

ASPECTOS TEÓRICOS DA TECNOLOGIA

Nesta seção, serão abordadas as tecnologias que fundamentam o desenvolvimento do sistema proposto, que visa otimizar o consumo de energia em ambientes climatizados, com controle de ar-condicionado baseado em movimento e agendamentos. Serão apresentados os conceitos que explicam a aplicação de cada tecnologia e sua relevância para o desenvolvimento do sistema. O sistema se apoia em tecnologias acessíveis e fundamentais, como a Internet das Coisas (IoT), que envolve a comunicação entre dispositivos, ou “coisas”, para realizar tarefas específicas. Essas tarefas são acionadas por gatilhos, como sensores de movimento, e o processamento dos dados coletados é utilizado para otimizar o controle do ambiente. Além disso, a visualização desses dados auxilia no desenvolvimento e aprimoramento do sistema. A compreensão dos conceitos teóricos abordados nesta seção facilitará o entendimento dos conhecimentos técnicos aplicados no desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle de ambientes climatizados. Isso permitirá reduzir repetições e tornar o conteúdo mais acessível a pessoas de diferentes áreas do conhecimento.

INTERNET DAS COISAS (IOT)

A Internet das Coisas (IoT) pode ser entendida como um ambiente no qual objetos físicos estão interconectados digitalmente por meio da internet, utilizando uma variedade de sensores e dispositivos embarcados. Esse conceito cria um ecossistema computacional ubíquo, projetado para facilitar tarefas do cotidiano, otimizando tempo e recursos nas atividades do dia a dia (Magrani, 2018). Assim como a internet conecta diferentes computadores, a IoT estabelece uma rede específica para dispositivos, permitindo comunicação e interação entre eles de forma autônoma e eficiente. De acordo com Al-Fuqaha *et al.* (2015), a IoT é composta por dispositivos inteligentes capazes de capturar informações do ambiente físico, como sons, temperatura, movimentos e calor, transmitir esses dados por meio de redes de comunicação, e, a partir do processamento dessas informações, realizar ações atribuídas de maneira automatizada ou remota. Dessa forma, percebe-se que a IoT é uma tecnologia central para a automação e eficiência de sistemas de monitoramento e controle, como o proposto neste trabalho.

Os conceitos de IoT podem ser aplicados em diversas áreas, desde automação residencial até monitoramento industrial. No controle de dispositivos, ela possibilita a implementação de sistemas mais eficientes, autogerenciáveis e que respondem automaticamente às condições do ambiente, reduzindo o desperdício de recursos. Em ambientes climatizados, por exemplo, a IoT pode ser utilizada para desligar equipamentos como ar-condicionado quando o local está vazio, economizando energia e prolongando a vida útil dos aparelhos.

COMUNICAÇÃO COM SERVIDOR E TELEGRAM BOT API

A comunicação com o servidor é uma etapa essencial em sistemas de automação, especialmente em aplicações que envolvem

a Internet das Coisas (IoT). Ela permite o monitoramento e o controle remoto, garantindo a integração eficiente entre dispositivos e usuários. O uso de servidores modernos, protocolos de comunicação confiáveis e APIs avançadas, como a Telegram Bot API, desempenha um papel crucial na funcionalidade e escalabilidade do sistema.

O servidor é responsável por centralizar e gerenciar o fluxo de dados em sistemas distribuídos. Em aplicações IoT, ele armazena as informações coletadas por sensores e disponibiliza esses dados para interfaces de usuário e automações. Neste trabalho, foi adotada uma arquitetura baseada em Node.js, uma plataforma de execução de JavaScript no lado do servidor. Seu modelo assíncrono e orientado a eventos torna-o ideal para aplicações que demandam escalabilidade e comunicação em tempo real (PAULINO, 2018). A escolha do TypeScript como linguagem principal acrescenta robustez ao sistema, graças à sua tipagem estática, reduzindo erros durante o desenvolvimento. Os dados coletados e processados são armazenados no banco de dados PostgreSQL, conhecido por sua alta performance, suporte a consultas complexas e confiabilidade na gestão de grandes volumes de informações (Abbasi, 2024). A comunicação entre o servidor, os dispositivos (como o ESP32) e a interface de usuário é realizada por meio do protocolo HTTP, amplamente utilizado devido à sua capacidade de estabelecer comunicação bidirecional por meio de requisições e respostas. Essa abordagem simplifica a integração entre os diferentes componentes do sistema.

A Telegram Bot API é uma interface oferecida pelo Telegram para a criação e gerenciamento de bots que interagem com os usuários. Esses bots podem enviar e receber mensagens, processar comandos e executar ações personalizadas, tornando-se uma ferramenta versátil para automação e controle remoto. Estudos que trabalharam no desenvolvimento de um middleware como intermediário na utilização de bots do Telegram Bot API (Swandi, 2021), mostra

que API suporta comunicação segura via HTTPS e oferece métodos para envio de mensagens, consulta de atualizações em tempo real e integração com outras tecnologias. No contexto deste trabalho, a API foi utilizada para criar um bot com as seguintes funcionalidades: notificar o usuário sobre alertas do sistema, como presença não detectada ou alterações no status do ar-condicionado, e receber comandos remotos, como ligar ou desligar dispositivos. A integração com o servidor em Node.js permite que o bot processe comandos enviados pelo Telegram e os converta em ações no sistema, como envio de instruções ao ESP32. Além disso, a API suporta a criação de interfaces personalizadas, como menus e botões, facilitando a interação do usuário.

FRONT-END EM FLUTTER

O *Flutter* é um *framework* de desenvolvimento multiplataforma criado pelo Google, amplamente utilizado para a criação de aplicações que podem ser executadas em dispositivos móveis, web e desktop, a partir de um único código-fonte. Ele utiliza a linguagem Dart e é muito popular por oferecer desempenho próximo ao nativo, suporte a interfaces ricas e uma curva de aprendizado amigável para desenvolvedores (Rissi; Dallilo, 2022). O *Flutter* é baseado no conceito de widgets reutilizáveis, permitindo a construção de interfaces modernas e responsivas. Sua popularidade se deve a várias características, como: a) desenvolvimento multiplataforma com um único código-fonte; *Hot Reload*, que possibilita a atualização em tempo real do que está sendo desenvolvido, agilizando o processo de testes e ajustes; e uma ampla variedade de bibliotecas, que oferecem suporte para diferentes funcionalidades, incluindo integração com APIs, serviços em nuvem e bancos de dados. Esses aspectos tornam o *Flutter* uma escolha versátil e eficiente para o desenvolvimento de aplicativos robustos e escaláveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento da solução proposta. Descreve em detalhes os materiais essenciais para a implementação, destacando dessa maneira seu papel no sistema, e explica os métodos e procedimentos seguidos para o desenvolvimento e validação da solução.

MATERIAIS

A Tabela 1, apresenta de forma resumida os materiais utilizados e descritos aqui adicionando os modelos de cada componente utilizados.

Tabela 1 - Componentes utilizados

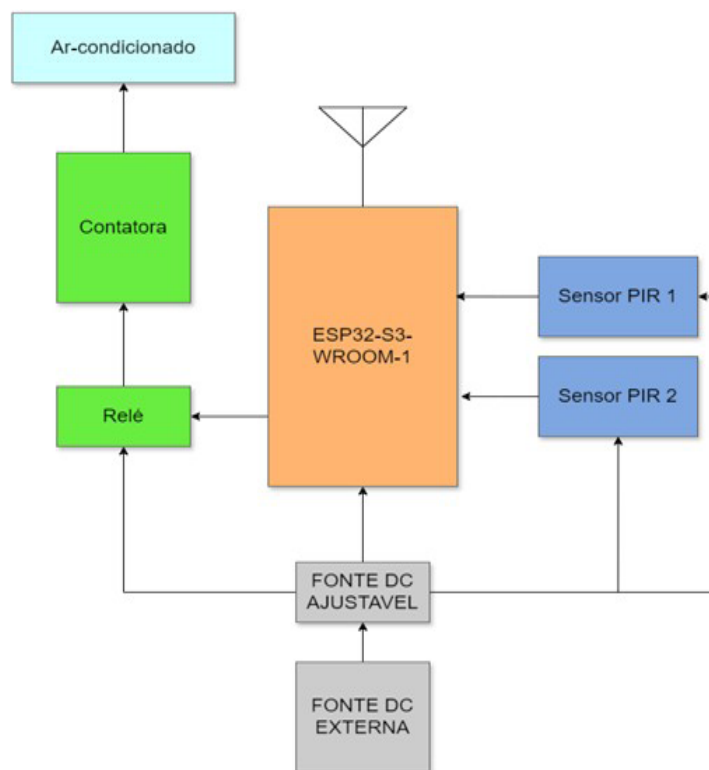
Componentes	Modelo	Descrição	Função no Sistema
ESP32	ESP32-S3-WROOM-1	Microcontrolador com Wi-Fi e Bluetooth integrados.	Gerencia sensores, controla relés e comunica com o servidor.
Sensores PIR	Hcsr501	Detectam presença por variações de radiação infravermelha.	Monitoram ocupação para controle do ar-condicionado.
Relé e Contator	Relé: Contator Metaltex CT-32-B0-322	Módulos eletromecânicos para controle de circuitos de alta potência.	Atuam no acionamento e desligamento do ar-condicionado.
Fonte de Alimentação Ajustável para protoboard	MB102	Permite ajustar a tensão que passará na protoboard para os componentes (5V e 3.3V).	Garante funcionamento estável dos componentes.
Fonte de Alimentação	-	Fornece energia elétrica aos componentes (9V DC).	Alimenta componentes para funcionamento adequado.

Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 1 mostra o diagrama de blocos do sistema de hardware. Este diagrama ilustra de um modo simples a interação entre os principais componentes utilizados, mostrando como os dados

fluem e como os dispositivos se conectam entre si para a realização das funções desejadas. O ESP32 é um microcontrolador de alto desempenho que integra WiFi e Bluetooth, muito utilizado em sistemas embarcados devido a sua ótima capacidade de se conectar e consumo energético otimizado (Florido *et al.* (2024)). No trabalho proposto, ele desempenha um papel de núcleo central, sendo desta forma responsável pela coleta de dados captados pelos sensores PIR, envio de informações processadas ao servidor e promover o acionamento do relé. No contexto do sistema desenvolvido, optou-se por sua escolha devido sua versatilidade, compatibilidade com o protocolo HTTP e seu custo-benefício.

Figura 1 - Diagrama de Blocos do sistema de Hardware



Os sensores PIR detectam as variações na radiação infravermelha emitida por objetos em movimento. Esses sensores são utilizados para a identificação de presença de pessoas no ambiente onde o sistema está instalado. Foi escolhido por sua confiabilidade em detectar movimentos em ambientes internos, além de serem muito utilizados em estudos relacionados à automação e eficiência energética (Junior, Marques, Riva, & dos Santos, 2020; Silveira, 2021). Os relés e contadores, são dispositivos muito utilizados para controle de circuitos elétricos. Enquanto os dois possuem como função principal abrir ou fechar o fluxo de corrente elétrica em um circuito, apesar de serem parecidos cada um possui suas particularidades em suas aplicações e capacidades. O relé é um dispositivo de controle elétrico projetado para atuar como interruptor de forma remota de baixa potência. Operando a partir de um circuito de entrada de baixa corrente, como um sinal elétrico gerado por um microcontrolador ou sensor, controlando um circuito de saída de maior corrente. Relés são muito comuns aplicados em sistemas que exigem automação e controle, como sistemas de iluminação, alarmes e dispositivos eletrônicos domésticos (Pereira *et al.*, 2023; Marquez, 2022). O contator, diferente do relé apesar de ter um funcionamento semelhante, é projetada para aplicações de alta potência. De acordo com Marquez (2022), os contadores são usados principalmente no controle de equipamentos industriais, como motores, sistemas de iluminação e equipamentos de climatização. Eles são capazes de lidar com correntes elevadas e, por isso, possuem uma estrutura mais robusta em comparação aos relés. Esses componentes foram selecionados por sua robustez e segurança no controle de cargas elétricas, sendo amplamente recomendados na literatura para sistemas de automação (Marquez, 2022).

A fonte de alimentação ajustável é utilizada para alimentar o ESP32 e outros componentes do circuito durante sua implementação e testes. Sua capacidade de permitir o ajuste de tensão foi

essencial para garantir que cada componente fosse alimentado com a tensão correta. Mantendo assim a estabilidade na alimentação dos componentes na sua implementação. Atuando juntamente está a fonte externa que energiza a fonte ajustável, neste caso a tensão máxima que a fonte ajustável podia suportar era entre 7 e 12 volts, desta forma foi necessária uma fonte de 9V para alimentação da fonte ajustável.

Como mostrado na Figura 1, o diagrama de blocos ilustra a estrutura funcional do sistema. A fonte de alimentação externa energiza uma fonte ajustável, que distribui energia para os componentes seguintes: o relé, os sensores PIR e o microcontrolador ESP32. O ESP32 atua como o núcleo do sistema, coletando dados dos sensores PIR e transmitindo-os ao servidor por meio de uma conexão Wi-Fi. Após consultar o servidor, o ESP32 aciona o relé, que, por sua vez, ativa o contator, responsável por controlar o funcionamento do ar-condicionado. A comunicação entre os sensores e o ESP32 é realizada por meio de GPIOs (*General Purpose Input/Output*). Após a detecção de presença, o ESP32 envia as informações ao servidor utilizando o protocolo HTTP para processamento adicional e tomada de decisões.

MÉTODOS

No desenvolvimento do sistema proposto, adota-se uma abordagem estruturada, partindo do levantamento de requisitos, escolha dos componentes e desenvolvimento do hardware, até a programação do software e validação do sistema em ambiente controlado. O objetivo desta seção é demonstrar como as ferramentas e técnicas foram combinadas para atender aos objetivos do projeto, garantindo funcionalidade, eficiência e confiabilidade.

Levantamento de Requisitos

Nesta etapa, foram definidos os requisitos do sistema, incluindo a detecção de presença, controle do ar-condicionado, consulta de agendamentos e envio de notificações ao usuário. Essa etapa foi fundamental para orientar as escolhas de hardware e software, além de garantir o alinhamento do sistema com os objetivos propostos. Estudos como o de Leal *et al.* (2021), que propuseram automação e controle na contagem de objetos em esteiras, evidenciam a importância de um levantamento de requisitos detalhado para garantir a funcionalidade do projeto.

Montagem do Hardware do Protótipo

O protótipo foi montado em uma protoboard conectando sensores PIR, fonte ajustável, relé, contator e o ESP32. Nesta etapa, foi possível realizar a validação inicial da funcionalidade e identificar ajustes necessários na integração dos componentes. Projetos similares, como o descrito por Pereira *et al.* (2023), destacam o uso de sensores e dispositivos de controle na automação de sistemas, reforçando a escolha adequada dos componentes físicos.

Desenvolvimento do Firmware

O firmware foi desenvolvido para execução no ESP32, utilizando o Arduino IDE. Em sua programação, foram usadas as GPIOs para comunicação com os sensores PIR e o relé, além da integração com a biblioteca HTTP para envio de dados ao servidor e com a Telegram Bot API para envio de notificações. A integração de IoT é uma solução amplamente discutida por autores como Al-Fuqaha *et al.* (2015), que exploram as tecnologias e protocolos de comunicação em sistemas conectados.

Desenvolvimento do Front-end

O front-end foi desenvolvido utilizando o framework Flutter, permitindo a criação de uma interface multiplataforma responsiva. Foram implementadas funcionalidades como monitoramento em tempo real, configuração de agendamentos e exibição de notificações. A integração com o servidor foi feita por meio de requisições HTTP, garantindo a comunicação com a API do sistema e a exibição dos dados de forma clara e intuitiva. Trabalhos como o de RISSI & DALLILO (2022) destacam as vantagens do Flutter como ferramenta eficiente para o desenvolvimento de aplicativos responsivos e multiplataforma.

Integração com o Servidor e Banco de Dados

A integração do ESP32 com o servidor foi feita com a utilização de requisições HTTP. Os dados coletados foram armazenados em um banco de dados PostgreSQL, conhecido por sua alta performance e suporte a consultas complexas. Esta etapa assegurou a persistência dos dados e seu processamento, além de possibilitar o monitoramento remoto. Plataformas semelhantes, como a proposta por Florido *et al.* (2023), também utilizam sistemas de IoT para armazenar e processar dados coletados em tempo real.

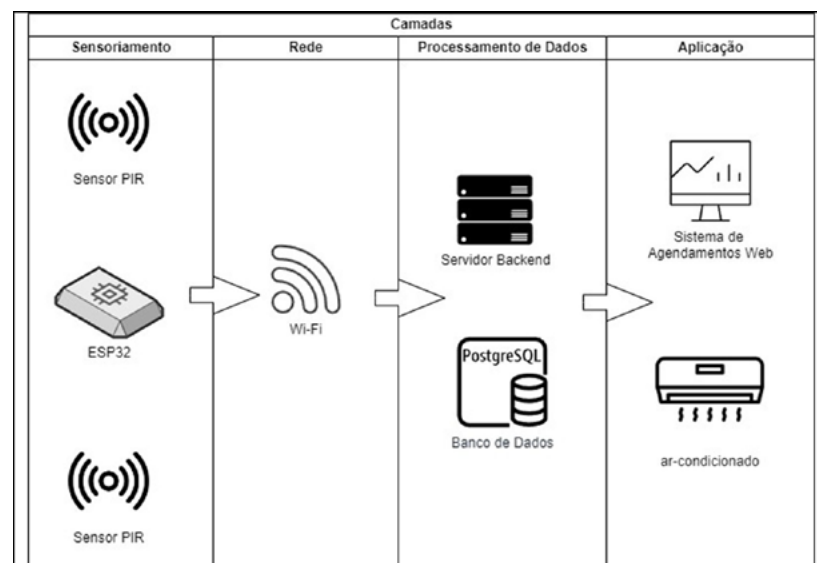
Testes e Validação

Foram realizados testes para validar o funcionamento do sistema em condições reais. Esses testes avaliaram a precisão dos sensores PIR, as consultas de agendamentos no banco de dados, a eficiência do envio de notificações via Telegram e a resposta do sistema às interações do usuário. Como no trabalho de Silveira *et al.* (2021), a realização de testes de sistemas automatizados é crucial para garantir a eficácia e robustez da solução proposta.

ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do sistema foi projetada para integrar os componentes de hardware, firmware e software de maneira eficiente e escalável, garantindo o funcionamento contínuo e confiável da solução. O sistema segue uma arquitetura distribuída, na qual o ESP32 atua como o núcleo de coleta e envio de dados, enquanto o servidor gerencia o processamento e o armazenamento. Como mostrado na figura 2 a arquitetura geral do sistema inteligente de monitoramento e controle de ambientes climatizados é composto por quatro camadas básicas: a primeira camada de sensoriamento, a segunda camada de rede, a terceira camada de processamento de dados e a quarta camada de aplicação.

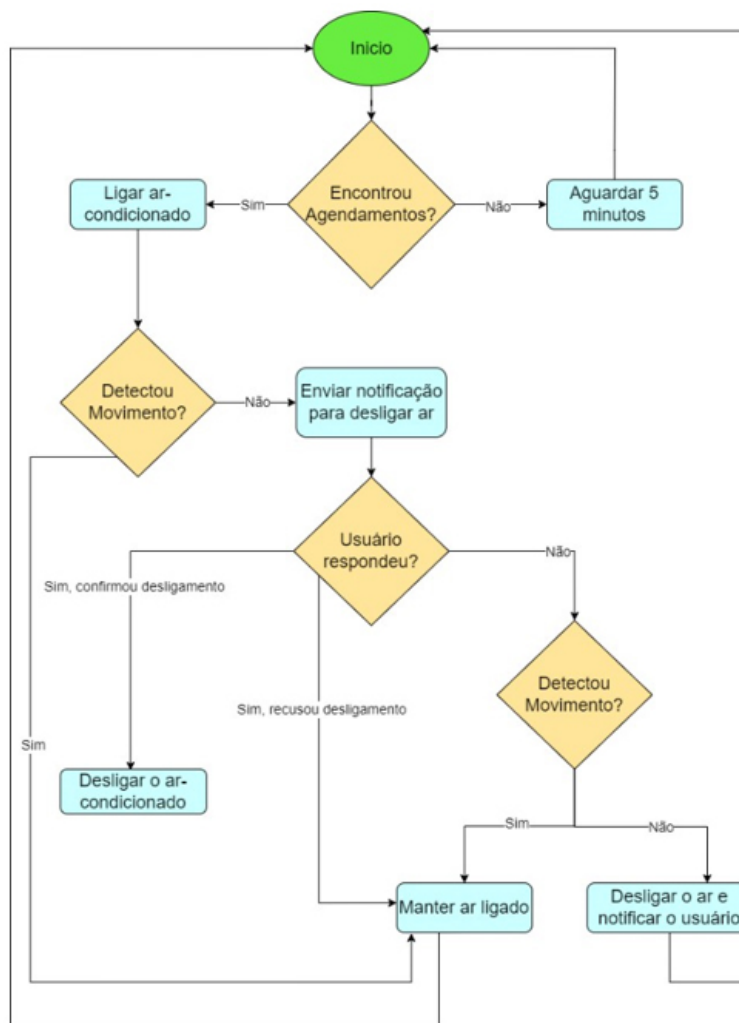
Figura 2 - Arquitetura geral do sistema



Na Figura 2, a arquitetura geral do sistema é dividida em quatro camadas. A Camada de Sensoriamento, à esquerda, é composta pelos Sensores PIR e o ESP32, responsáveis pela detecção de presença e coleta de dados. A Camada de Rede se encontra logo à direita e envolve a conexão Wi-Fi que transmite os dados do ESP32 para o servidor backend. Em seguida, a Camada de Processamento de Dados, que inclui o servidor backend e o banco de dados, processa as informações recebidas e as armazena. Por fim, a Camada de Aplicação, à direita, engloba o Sistema de Agendamentos Web, que gerencia as configurações do sistema, e o controle do ar-condicionado, que é ajustado conforme os dados dos sensores e os agendamentos.

A Figura 3 apresenta, em formato de diagrama de fluxo, o funcionamento esperado do sistema. O diagrama detalha as principais ações e eventos que ocorrem durante sua operação, ilustrando o processo de forma clara e estruturada. O fluxo do sistema começa com a consulta de agendamentos para verificar se há algum agendado para o laboratório. Caso não exista um agendamento, o sistema aguarda alguns minutos e tenta novamente. Quando um agendamento é encontrado, o ar-condicionado é automaticamente ligado. Em seguida, o sistema monitora a presença na sala utilizando sensores PIR. Se a sala estiver vazia, o sistema envia uma notificação ao usuário e desliga o ar-condicionado. Se a presença for detectada, o ar-condicionado permanece ligado. O processo é ilustrado utilizando losangos para etapas de decisão no diagrama de fluxo: o primeiro, "Encontrou Agendamentos?"; avalia a existência de um agendamento e o segundo, "Detectou Movimento?"; determina se o ar-condicionado deve ser mantido ligado ou desligado, com as ações subsequentes indicadas em azul.

Figura 3 - Diagrama de fluxo do sistema



Se, após a notificação, o sistema continuar sem detectar presença no ambiente, ele desliga automaticamente o ar-condicionado e notifica o usuário sobre a ação tomada. Este processo é representado no diagrama pelos dois losangos amarelos inferiores:

o primeiro refere-se à verificação da resposta do usuário, enquanto o segundo determina a ação a ser tomada com base na resposta ou na ausência dela, com as ramificações em azul representando a continuidade das ações, seja aguardando mais tempo ou realizando o desligamento automático.

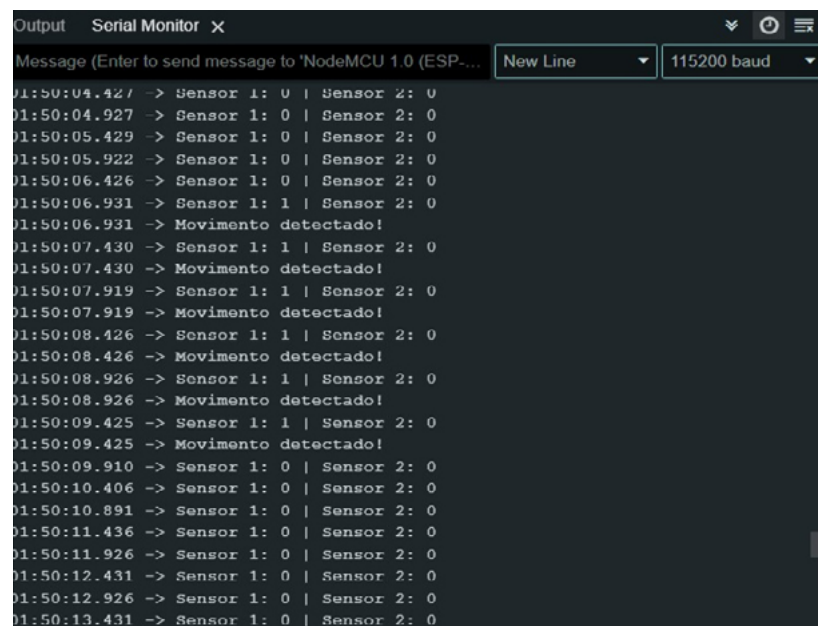
RESULTADOS

O desenvolvimento do sistema foi realizado de forma incremental, com testes contínuos de forma a validar o funcionamento de cada componente e a integração geral do sistema. Foi utilizada a protoboard como plataforma de testes e validação do sistema para verificar a funcionalidade de cada parte do sistema individualmente. Baseado em cada componente do sistema, os testes foram realizados da seguinte forma: sensores PIR, ativação do relé e a consulta de agendamentos. Após esses testes unitários, o sistema foi montado na protoboard e testado em ambiente controlado e simulando as condições de operação do sistema.

TESTES UNITÁRIOS DOS SENSORES PIR

Os sensores PIR foram os primeiros a serem testados isoladamente, garantindo que eles respondessem corretamente aos movimentos na sala. Em testes realizados, foi verificado que os sensores apresentaram alta sensibilidade, acionando o sistema de forma precisa quando movimento foi detectado. A Figura 4 mostra a configuração do sistema na protoboard durante o teste dos sensores PIR, onde é possível observar os sensores conectados ao ESP32, que envia os dados para o servidor. É possível visualizar os logs no monitor serial ao qual foi utilizado para debug de forma a testar quando algum evento ocorresse.

Figura 4 - Testes dos sensores PIR na Protoboard



```
Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'NodeMCU 1.0 (ESP-...' New Line 115200 baud
01:50:04.427 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:04.927 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:05.429 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:05.922 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:06.426 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:06.931 -> Sensor 1: 1 | Sensor 2: 0
01:50:06.931 -> Movimento detectado!
01:50:07.430 -> Sensor 1: 1 | Sensor 2: 0
01:50:07.430 -> Movimento detectado!
01:50:07.919 -> Sensor 1: 1 | Sensor 2: 0
01:50:07.919 -> Movimento detectado!
01:50:08.426 -> Sensor 1: 1 | Sensor 2: 0
01:50:08.426 -> Movimento detectado!
01:50:08.926 -> Sensor 1: 1 | Sensor 2: 0
01:50:08.926 -> Movimento detectado!
01:50:09.425 -> Sensor 1: 1 | Sensor 2: 0
01:50:09.425 -> Movimento detectado!
01:50:09.910 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:10.406 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:10.891 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:11.436 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:11.926 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:12.431 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:12.926 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
01:50:13.431 -> Sensor 1: 0 | Sensor 2: 0
```

Fonte: dados coletados pelos autores.

Na Figura 4, os sensores 1 e 2 demonstraram um bom desempenho na detecção de presença. Isso pode ser visto nos logs do monitor serial, onde, a cada movimento captado na área de atuação, os sensores enviam uma mensagem confirmando a detecção. Essa mensagem é processada pelo código e registrada no monitor serial como “movimento detectado”. Durante os testes, os sensores apresentaram respostas rápidas e precisas, registrando corretamente cada variação na área monitorada. Esse comportamento se deve ao funcionamento dos sensores PIR, que identificam mudanças na radiação infravermelha causada pelo movimento de pessoas no ambiente. O teste também mostrou que os sensores operam de maneira constante, sem apresentar falhas ou leituras indevidas, garantindo a eficiência do sistema na coleta de dados e no envio das informações.

Esses resultados são fundamentais para o desenvolvimento do sistema porque mostram que os sensores PIR conseguem monitorar presença de forma confiável, o que é essencial para a automação proposta. A precisão das leituras garante que o sistema tome decisões corretas, como desligar o ar-condicionado ao detectar a ausência prolongada de pessoas, ajudando a evitar desperdício de energia. Além disso, a visualização dos logs no monitor serial facilita identificar como o sistema está funcionando na prática, permitindo ajustes necessários. Esse bom desempenho fortalece a base do projeto e demonstra que a tecnologia pode ser aplicada em diferentes ambientes climatizados com eficiência.

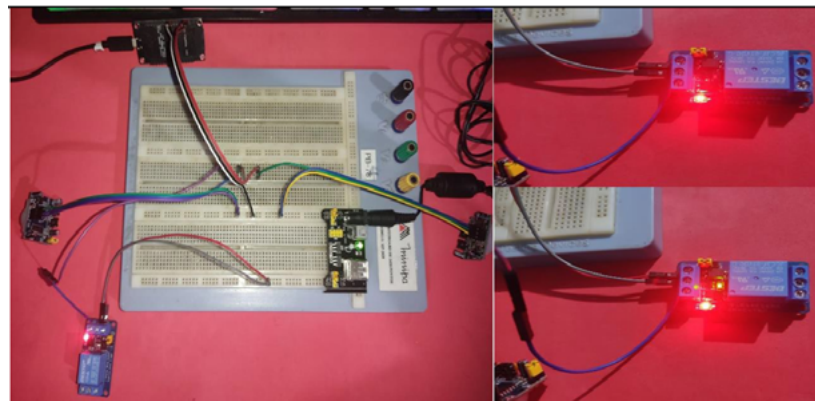
TESTE DE ATIVAÇÃO DO RELÉ

A ativação do relé foi testada de forma a garantir que o comando para ligar ou desligar o ar-condicionado fosse executado corretamente. Utilizando a protoboard, o relé foi ativado pelo ESP32 com base nos sinais enviados pelos sensores PIR. Durante os testes, o relé foi acionado sem falhas, demonstrando que o sistema de controle estava funcionando conforme esperado. A Figura 5 apresenta o protótipo completo do sistema, que inclui o ESP32, dois sensores PIR, um relé e uma protoboard, alimentados por uma fonte ajustável. Na primeira parte da figura, é possível visualizar a montagem física de todos os componentes conectados, destacando a integração entre os sensores de presença e o relé, responsável por acionar o controle do ar-condicionado.

Na segunda parte, localizada no topo direito, observa-se o relé com o LED apagado, indicando que o sistema não detectou movimento ou que não há necessidade de acionar o ar-condicionado naquele momento. Já na parte inferior, o relé aparece com o LED aceso, sinalizando que o sistema detectou presença ou recebeu a instrução para ligar o dispositivo controlado. Esses resultados

demonstram o funcionamento esperado do protótipo durante os testes, validando a comunicação entre sensores, ESP32 e relé.

Figura 5 - Teste de Ativação do Relé na Protoboard



Fonte: elaborado pelos autores.

O resultado mostrado na Figura 5 confirma o funcionamento do relé ao ser acionado nos testes com o protótipo. Isso pode ser visto na mudança do estado do relé: inicialmente, o LED está apagado, e, em seguida, ele acende quando os comandos são enviados. Esse processo ocorreu porque os sensores PIR detectaram movimento e enviaram os sinais para o ESP32, que, ao processar essas informações, ativou o relé para ligar ou desligar o dispositivo conectado.

Esse resultado é fundamental porque comprova que os componentes estão integrados corretamente e que o sistema funciona conforme o esperado. A resposta do relé é essencial para controlar o ar-condicionado de forma automatizada, mostrando que a tecnologia pode realmente contribuir para a otimização do uso de energia. Isso torna o sistema mais confiável e viável para ser implementado em ambientes reais, onde a automação eficiente é crucial para reduzir desperdícios e simplificar a operação.

TESTE DE CONSULTA DE AGENDAMENTOS

A consulta de agendamentos foi realizada utilizando o sistema de servidor que armazena e processa as informações. O ESP32 fez consultas de agendamento e, ao detectar a falta de presença de uma pessoa na sala agendada, enviou uma notificação via Telegram ao usuário, conforme esperado. Esse teste foi importante para verificar a comunicação entre o servidor e o ESP32, bem como a funcionalidade da API do Telegram para envio de mensagens. A Figura 6 apresenta um log do Serial Monitor que exibe resposta da consulta realizada pelo ESP32 para verificar a existência de agendamentos no servidor. O conteúdo mostra as mensagens recebidas e processadas pela ESP32 em tempo real. Primeiro, o dispositivo recebe uma resposta do servidor com um JSON contendo os campos: id (identificador do agendamento), encerrado (status do agendamento, onde 1 significa finalizado), e status (indicação de disponibilidade).

O log mostra três informações importantes: a confirmação de que o agendamento foi encontrado, que ele já está encerrado e, por fim, a mensagem informando que não há agendamento disponível no momento. Isso indica que o sistema está consultando o servidor de forma correta, interpretando os dados recebidos e exibindo os resultados de maneira clara e objetiva. A leitura desse log é essencial para validar a comunicação entre o hardware e o servidor, garantindo que os agendamentos sejam tratados conforme o esperado.

Figura 6 - Teste de Consulta de Agendamentos

```
Message (Enter to send message to 'NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)' on 'COM6')
8:26:31.365 -> Resposta do servidor: {"id":-1,"encerrado":-1,"status":0}
8:26:31.365 -> Agendamento encontrado e já encerrado.
8:26:31.365 -> Nenhum agendamento encontrado.
```

Fonte: dados coletados pelos autores.

É possível observar a confirmação do correto funcionamento da consulta e análise dos agendamentos. A interação entre o ESP32

e o servidor se dará através de respostas lidas no monitor serial, que indicam as condições encontradas no sistema. Isso vai acontecer porque o dispositivo foi projetado para interpretar os dados retornados e agir de acordo com as situações identificadas. Esse resultado fortalece o desenvolvimento da tecnologia ao comprovar a integração entre hardware e servidor de maneira eficiente, garantindo o controle automatizado com base nas informações recebidas. Isso mostra que o sistema é capaz de tomar decisões dinâmicas, oferecendo uma solução prática para a automação e otimização dos recursos energéticos em ambientes climatizados.

TESTES DE UTILIZAÇÃO DO FRONT-END

O front-end foi desenvolvido para gerenciar os agendamentos e monitorar o uso dos laboratórios de maneira prática. Entre as funcionalidades testadas, destacam-se as listadas a seguir.

Consulta de Agendamentos

A funcionalidade permite visualizar e editar os agendamentos armazenados no banco de dados. Os testes mostraram que a exibição dos dados foi realizada sem inconsistências, e as operações de edição foram concluídas com sucesso. A figura 7 mostra a tela principal onde os agendamentos são organizados em formato de tabela. Nela, é possível visualizar várias informações importantes como a atividade agendada, a sala correspondente, as datas de início e fim do agendamento, além do status do ar-condicionado, indicando se está ligado ou desligado. A interface conta ainda com filtros para facilitar a busca por agendamentos específicos e botões de ação, como adicionar, editar ou deletar registros, garantindo mais praticidade no uso. Esse layout torna a gestão dos agendamentos bem simples e intuitiva, permitindo que o usuário tenha uma visão clara e organizada das atividades programadas. Além disso, os filtros e as opções

de edição dão mais controle sobre o sistema, o que ajuda na automação e no gerenciamento eficiente dos ambientes climatizados.

Figura 7 - Tela de consulta de agendamentos

Nome Ar	Usuário / Atividade	Área	Sala	Início	Fim	Tipar	Ação
DELTA,DELTA	Atendimento monitora_prof. Isaac	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação II	02/12/2024, 09:00:00	02/12/2024, 10:40:00	Outros	✎ ☒
ECAT	Projeto Mecânica Aplicada_Filipe	BLOCO B - TÉRREO	Indústria II	02/12/2024, 10:00:00	02/12/2024, 12:00:00	Enema	✎ ☒
DELTA	Eletrônica Analógica_Fernando Almeida	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação II	02/12/2024, 10:40:00	02/12/2024, 11:30:00	Enema	✎ ☒
EMEC11A,11B	Atendimento Monitora_Prof. Isaac Neto	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação I	02/12/2024, 13:00:00	02/12/2024, 14:00:00	Outros	✎ ☒
EMEC11A,11B	Atendimento Monitora_Prof. Isaac Neto	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação II	02/12/2024, 13:00:00	02/12/2024, 14:00:00	Outros	✎ ☒
Prof. Diego		BLOCO C - EXTENSÃO	Lab. de Aquecimento/ CLP	02/12/2024, 14:00:00	02/12/2024, 16:00:00	Enema	✎ ☒
EMEC11A	Eletrônica Analógica_Prof. Ulisses	BLOCO B - TÉRREO	Indústria I	02/12/2024, 14:00:00	02/12/2024, 16:30:00	Enema	✎ ☒
DELTA	Desenho_Jonatas	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação I	02/12/2024, 14:00:00	02/12/2024, 15:40:00	Enema	✎ ☒
EMEC11B	Desenho CAD_Bonardo Augusto	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação II	02/12/2024, 14:00:00	02/12/2024, 15:40:00	Enema	✎ ☒
EMEC11A	Desenho CAD_Bonardo Augusto	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação II	02/12/2024, 15:40:00	02/12/2024, 17:30:00	Enema	✎ ☒
ECAT	Carbido_Lindolfo	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação IV	02/12/2024, 15:40:00	02/12/2024, 18:00:00	Enema	✎ ☒
DELTA	Desenho_Jonatas	BLOCO B - 1º ANDAR	Lab. Programação I	02/12/2024, 15:40:00	02/12/2024, 17:30:00	Enema	✎ ☒

Fonte: dados coletados pelos autores.

O resultado foi uma tela que organiza os agendamentos de maneira clara e funcional, permitindo que o usuário veja de forma rápida quais agendamentos estão ativos, qual é o status do ar-condicionado e outras informações essenciais, como a sala, as datas e as ações disponíveis, como editar ou excluir. Isso aconteceu porque a integração entre a parte técnica e a interface foi feita de forma simples e eficiente, com a tabela sendo atualizada sempre que há mudanças nos agendamentos ou no status do sistema. O uso de filtros e a organização em colunas ajudam a tornar tudo mais acessível e direto. Esse resultado ajuda na criação da tecnologia porque oferece uma maneira prática e rápida de gerenciar os agendamentos, o que facilita a administração dos ambientes climatizados. Isso é importante porque, ao oferecer uma forma simples de editar e acompanhar os agendamentos, o sistema pode ser usado de maneira eficiente por qualquer pessoa, mesmo sem experiência técnica, o que aumenta a usabilidade e o impacto do sistema no dia a dia.

Importação de Agendamentos por Arquivo CSV

Testes foram realizados com arquivos contendo dados válidos e inválidos para verificar o comportamento do sistema. O *front-end* processou corretamente os dados válidos e retornou mensagens de erro informativas para dados inválidos. A Figura 8 mostra a tela de importação de arquivos CSV, que permite ao usuário carregar vários agendamentos de uma vez. Nessa tela, há um botão para escolher o arquivo, que permite navegar até o local onde o arquivo CSV está armazenado. Quando o arquivo é carregado corretamente, o nome do arquivo selecionado aparece na tela, informando ao usuário qual arquivo foi escolhido. Logo abaixo, há um botão de envio, que, ao ser clicado, envia os dados do arquivo para o sistema, permitindo que os agendamentos sejam armazenados em massa. Esses elementos são importantes para garantir que o processo de importação seja intuitivo e sem erros. O nome do arquivo confirmado na interface serve como uma verificação visual, garantindo que o usuário carregou o arquivo correto antes de enviar os dados. Isso facilita o uso do sistema e aumenta a precisão na hora de importar os dados.

Figura 8 - Tela de importação de agendamentos em csv



Fonte: elaborado pelos autores.

O resultado obtido com a tela de importação de arquivos CSV foi a possibilidade de carregar agendamentos de forma prática e eficiente em massa. Quando o arquivo é selecionado, seu nome é exibido na tela, o que ajuda o usuário a confirmar que o arquivo correto foi escolhido. Após clicar no botão de envio, os dados do arquivo são processados e inseridos no sistema. Isso acontece pois o sistema consegue ler o arquivo CSV, interpretar os dados contidos nele e armazená-los adequadamente, tornando o processo de importação mais ágil e seguro. Essa funcionalidade contribui para a criação de uma tecnologia mais eficiente, pois facilita o carregamento de grandes volumes de dados, eliminando a necessidade de inserção manual de cada agendamento. Isso torna o sistema mais escalável e prático, permitindo que os usuários realizem atualizações em massa de forma simples, o que é crucial em ambientes onde o volume de agendamentos é grande. Ao automatizar esse processo, o sistema também reduz a possibilidade de erros humanos e melhora a experiência do usuário.

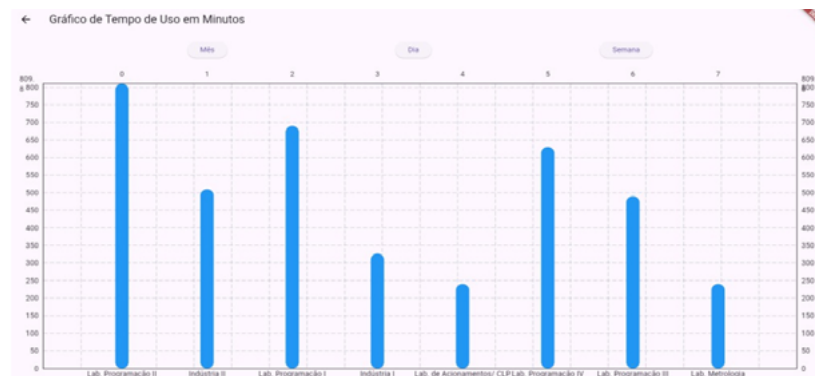
Visualização Gráfica de Uso

Um gráfico foi implementado para exibir o tempo total de uso dos laboratórios, em minutos, com base nos agendamentos. Durante os testes, os dados foram carregados corretamente, e o gráfico refletiu com precisão as informações do banco de dados. A Figura 9 apresenta um gráfico de barras que mostra o tempo total de uso das salas, com a finalidade de permitir uma análise rápida do uso das instalações ao longo de diferentes períodos. O eixo horizontal (X) apresenta as salas disponíveis, enquanto o eixo vertical (Y) indica o tempo total de uso de cada sala, expresso em minutos. As barras representam a duração de uso de cada sala, permitindo comparar rapidamente o tempo de uso entre as diferentes opções.

Acima do gráfico, há três botões que permitem filtrar os dados por mês, semana ou dia. Isso ajuda o usuário a ver os dados de

forma mais detalhada, dependendo do período que ele quer analisar. Assim, a visualização do gráfico fica mais flexível, permitindo que o usuário escolha o período que melhor atenda às suas necessidades.

Figura 9 - Tela de Gráfico de Uso por Laboratório



Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 9 foram simulados com base na duração prevista de uso das salas, calculada pela diferença entre a hora de início e a hora de fim de cada atividade. Esses tempos foram atribuídos aleatoriamente às salas durante os testes, com o objetivo de avaliar o uso das instalações em um período específico. O gráfico mostra que o "Lab. Programação II" teve o maior tempo de uso, com 809,82 minutos, seguido pelo "Lab. Programação I" com 690 minutos. Isso pode ser explicado pela maior demanda das salas de programação, que geralmente são mais requisitadas e versáteis. Já o "Lab. de Acionamentos/CLP" e o "Lab. Metrologia", com 240 minutos cada, apresentaram menor tempo de uso, possivelmente devido a atividades mais específicas e de curta duração simuladas nessas salas.

As diferenças observadas refletem as características de cada sala e o tipo de atividade simulada. As salas de programação, com atividades mais contínuas, tiveram maior tempo de uso,

enquanto as de acionamentos e metrologia, com uso mais esporádico, apresentaram menor demanda. Esse experimento permite entender como o uso das salas pode variar conforme a duração das atividades realizadas, mesmo em um cenário de testes controlados. Esse resultado contribui diretamente para a melhoria do sistema, porque permite um controle mais eficaz sobre os recursos. Sabendo como as salas são utilizadas, podemos tomar decisões mais informadas, otimizando o uso de energia e garantindo que o sistema seja mais eficiente. Isso também ajuda a planejar melhor os agendamentos, oferecendo uma solução mais prática e eficiente para o gerenciamento dos ambientes.

CONCLUSÃO

Este estudo descreveu a criação de um sistema automatizado para o controle de ar-condicionado em laboratórios, utilizando sensores PIR e o microcontrolador ESP32. O sistema foi projetado para integrar-se a uma plataforma web, permitindo o gerenciamento de agendamentos e o monitoramento em tempo real do uso dos laboratórios. Os testes realizados na protoboard demonstraram que o sistema funciona de maneira eficiente, com comunicação adequada entre os sensores PIR, o ESP32 e o relé, além da integração com o sistema web para gerenciamento dos agendamentos. A solução apresentada se sobressai, por proporcionar um gerenciamento mais eficiente do uso de energia, de forma a minimizar desperdícios e oferecendo uma alternativa acessível e replicável para automatização de ambientes. Desta forma, o estudo contribui diretamente para a busca por soluções mais sustentáveis e que sejam mais econômicas em sistemas de controle automatizado.

Apesar dos testes iniciais terem sido bem-sucedidos, a implementação em um ambiente real com o ar-condicionado ainda

é necessária. Esse teste será um passo essencial para validar o sistema em condições reais de operação e fazer os ajustes necessários para otimizar seu desempenho. Apesar do bom funcionamento até o momento, existem algumas limitações que precisam ser resolvidas, como a adaptação do sistema a diferentes tipos de ambientes e a calibração dos sensores para garantir uma maior precisão na detecção de presença. Ainda assim, essas limitações não diminuem a relevância dos resultados alcançados até agora, pois mostram que a base do sistema está sólida e pronta para evoluir com ajustes pontuais, abrindo caminho para melhorias futuras.

No geral, o sistema possui grande potencial para otimizar o uso de energia em ambientes como laboratórios, contribuindo para a redução do desperdício de energia e tornando esses espaços mais eficientes. Para futuras melhorias, seria interessante explorar a adição de novas funcionalidades, como o controle de outros dispositivos de climatização, a inclusão de métricas de consumo energético ou a integração com sistemas de automação mais amplos. Além disso, mais uma recomendação de estudo mais aprofundado pode trabalhar o uso de inteligência artificial na previsão de agendamentos, identificando padrões de uso e realizando o ajuste do sistema automaticamente, elevando ainda mais sua eficiência e facilitando a tomada de decisões no gerenciamento de recursos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Projeto Aranouá executado pelo IFAM em parceria com a Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., usando recursos da Lei Federal nº 8.387/1991, estando sua divulgação e publicidade em conformidade com o previsto no artigo 39.º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. *et al.* Adaptive and scalable database management with machine learning integration: A PostgreSQL case study. **Information**, v. 15, n. 9, p. 1-25, 2024. <https://doi.org/10.3390/info15090574>.
- AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. **IEEE communications surveys & tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>.
- PAULINO, Leonardo Soares. NODEJS. **REFAQI-Revista de Gestão Educação e Tecnologia**, v. 4, n. 2, p. 3-3, 2018.
- CARVALHO, F. M. P. M. A. *et al.* Climatização eficaz em data centers: desenvolvimento e implementação de um sistema de controle e monitoramento. **Revista de Sistemas e Computação-RSC**, v. 14, n. 1, p. 87-97, 2024. <https://doi.org/10.36558/rsc.v14i1.8736>.
- BARROS, M. B.; FONSECA, J. P. S. Conectividade ethernet e lot flexível para monitoramento de processos de usinagem em máquinas CNC. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 10, n. 1, p. 207-217, 2024. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i1.43818>.
- ESPRESSIF. **ESP32 Datasheet**. 2023. Disponível em https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 07 dez. 2024.
- FLORIDO, I. R.; NASCIMENTO, S. S.; FROTA, V. B.; NASCIMENTO-E-SILVA, D. Plataforma didática de monitoramento meteorológico com cultura maker para medição de gás carbônico. *In*: FROTA, V. B.; NASCIMENTO-E-SILVA, D. (Orgs.). **Internet das Coisas e Sustentabilidade: Propostas Tecnológicas**. Belo Horizonte: Poisson, 2024, p. 58-65.
- LEAL, I. F. M. *et al.* Proposta de automação e controle da contagem de objetos e identificação de falhas em esteira transportadora. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 12, p. 166-174, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.012.0017>.
- MAGRANI, E. **A internet das coisas**. São Paulo: FGV, 2018.
- MARQUEZ, J. P. B. **Previsão e padronização de processos de press-fit em contadores através de desenho de experiências aplicado na indústria automóvel**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

PANTOJA, N. Plataforma de análise e monitoramento geoespacial da informação ambiental como suporte à decisão para políticas públicas ambientais, 2023. Florianópolis. **Anais eletrônicos...**, São José dos Campos, INPE, 2023.

PEREIRA, G. N. *et al.* **Protótipo de elevador de canecas com sensores de segurança.** 2023. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico Mecatrônica Integrado ao ensino Médio), Escola Técnica Estadual Sylvio de Mattos Carvalho, Matão, São Paulo, 2023.

RISSI, M.; DALLILO, F. D. Flutter um framework para desenvolvimento mobile. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 11, p. e3112230-e3112230, 2022. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i11.2230>.

SANTOS, L. D. V. **Controlo inteligente de iluminação para passadeiras.** 2020. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores). Universidade de Tras-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

SARRI JUNIOR, J. C. *et al.* Controle inteligente de acesso e eletroeletrônicos com microcontrolador Atmega 238P objetivando a eficiência energética. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63859-63867, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-713>.

SILVEIRA, B. F. F. **Estudo da eficiência energética de um ar-condicionado com controle automatizado.** 2021. 97 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia). Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021.

SILVEIRA, J. P. **Aplicação de automação e controle de um sistema de climatização e iluminação.** 2023. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação). Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2023.

SILVEIRA, R. S. *et al.* Aplicação do protocolo MQTT para integração de dispositivos iiot a sistemas de automação industrial em um ambiente de testes. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, v. 4, n. 2, p. 1-15, 2021.

SWANDI, Charles Eka *et al.* Middleware development to connect telegram messenger and instant messenger for the elderly. *In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2021. p. 012007

16

*Wendel da Costa Prado
Vitor Bremgartner da Frota
Hugo Alves Velozo
Alyson de Jesus dos Santos
Daniel Nascimento-e-Silva*

RECONHECIMENTO FACIAL EM TEMPO REAL:

INTEGRAÇÃO DE DEEP LEARNING E IOT

SUMÁRIO

RESUMO:

O reconhecimento facial é uma tecnologia que permite a identificação de uma pessoa por meio de suas características faciais e pode ser utilizada como uma chave de controle de acesso e autenticação em diversas áreas como educação, saúde, varejo e segurança. Este trabalho trata do desenvolvimento de um sistema de reconhecimento facial utilizando técnicas de Deep Learning, realizando uma integração com um dispositivo utilizando IoT. Essa abordagem pode ser aplicada em diversas áreas, sendo comum no setor de segurança e controle de acesso. O método utilizado usa uma câmera para captura de imagens onde é feita detecção de um rosto e extraído suas características faciais utilizando redes neurais convolucionais (CNN) para assim realizar uma predição, e acionar de um dispositivo ESP32, utilizando o protocolo MQTT para enviar um comando. Os testes realizados mostraram alta precisão na identificação das pessoas cadastradas, mesmo com algumas mudanças na iluminação, porém apresenta inconsistências quando um rosto apresenta máscaras. Como contribuição científica, esse sistema apresenta uma alternativa prática e de baixo custo para controle de acesso, que pode ser usado em diversos setores, realizando uma integração de um sistema de reconhecimento com dispositivos remotos.

Palavras-chave: Reconhecimento facial, IoT, Deep learning, Controle de acesso, Redes neurais convolucionais.

INTRODUÇÃO

O reconhecimento facial é uma das tecnologias que foram resultado dos avanços da inteligência artificial, é um processo capaz de comparar imagens de rostos através de suas características faciais com um banco de dados de imagens já coletadas para encontrar correspondências (Sharma; Bhatt; Sharma, 2020). Essa tecnologia pode ser aplicada em diversas áreas como, segurança, biometria, robótica e sistemas de vigilâncias (Said; Barr; Ahmed, 2020). O uso de Deep learning aplicado em reconhecimento facial tem vantagem sobre os métodos tradicionais, pelo motivo de seu treinamento utilizar uma grande quantidade de dados para treinamento, dessa maneira, conseguem atingir uma precisão elevada, pois conseguem aprender características que são complexas (Said; Barr; Ahmed, 2020; Aez-Trigueros; Meng; Hartnett, 2018). Assim um sistema que integra uma técnica de reconhecimento, pode ficar mais robusto, com uma integração utilizando *IoT (Internet of Things)*, uma tecnologia que possibilita a comunicação entre dispositivos, havendo assim uma troca de informações que podem ser usadas para controlar algum dispositivo, podendo ser aplicada principalmente para controle de acesso (Radzi *et al.*, 2020).

Atualmente existem diversas tecnologias que podem ser usadas como meios de autenticação de usuários, como: impressões digitais, reconhecimento de voz, reconhecimento de retina, reconhecimento de digitação. Entretanto, existem diversos fatores que são precisos serem analisados para aplicá-las, principalmente o preço de implementação e a precisão da tecnologia para reconhecer uma pessoa. Assim o uso de reconhecimento facial quando usando técnicas de Deep learning se torna viável por usar uma abordagem natural, e não invasiva, ou seja, sem precisar de uma interação com toque físico, além de que é considerado bastante seguro, visto que o rosto não pode ser roubado ou emprestado.

Este artigo propõe o desenvolvimento de um sistema que possa fazer controle de acesso com reconhecimento facial, utilizando a técnica de Deep Learning e sua integração com IoT, assim é possível oferecer um controle de acesso mais seguro e prático, se mostrando eficiente para acionar dispositivos em uma rede interna. O sistema de reconhecimento facial integrado com IoT proposto nessa pesquisa visa criar um sistema que combine as técnicas de Deep learning com a versatilidade de comunicação utilizando IoT, oferecendo uma solução de controle de acesso que possa ser flexível e segura, utilizando um modelo que pode extrair características complexas do rosto através de uma grande base de dados, diferente dos modelos tradicionais, que podem não ser tão precisos ao fazer a predição de uma pessoa. Assim a combinação dessas tecnologias oferece um sistema que pode ser adaptável em qualquer área que necessite de um controle de acesso, e informação em tempo real.

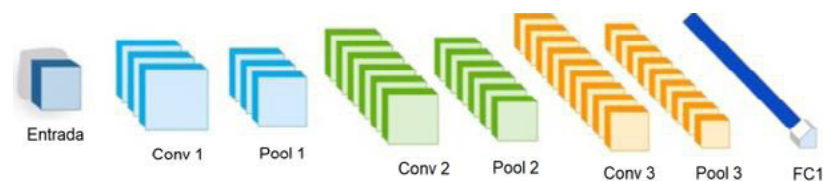
REVISÃO DA LITERATURA

Reconhecimento facial é uma parte da visão computacional, é uma tecnologia com capacidade de mapear as características faciais de uma pessoa. Assim a partir de uma fotografia é possível obter esses dados, o que torna possível usar esses dados para fazer comparações e obter uma correspondência adequada (Rosebrock, 2017). Deep learning é um subcampo da inteligência artificial, e um dos seus principais objetivos são promover um conjunto de técnicas que possam ser usados para resolver problemas humanos, principalmente os com uma alta complexidade e que podem ter um grande número de dados e variáveis (Rosebrock, 2017). Pode ser classificado como um domínio conjunto do aprendizado de máquina. Porém está mais focado em análises mais complexas, para isso usam redes neurais que é uma técnica matemática que mimetiza o cérebro humano

para realizar tarefas que exijam uma análise crítica, e que tem ótimos resultados na classificação de imagens (Kaur *et al.*, 2022).

Rede neurais convolucionais (CNN) são um modelo de Deep Learning especializado em fazer análise de imagens e processamento visuais, como classificação de imagens e detecção de objetos (Aez-Trigueros *et al.*, 2018; Rosebrock, 2017; Li, Y *et al.*, 2020). Em termos simples, uma CNN é um processo em que uma imagem passa por várias camadas, e partir de cada camada é feita a extração de várias características, como padrões, formas, texturas, cores e bordas (Sharma *et al.*, 2020; Yuri; Francisco, 2021). Assim, existe uma hierarquia dos dados, em cada camada são extraídas essas características e reduzindo a dimensão da imagem para uma camada posterior (Aez-Trigueros *et al.*, 2018).

Figura 1 - Arquitetura de uma simples CNN



Fonte: elaborado pelos autores.

De acordo com o estudo de Rosebrock (2017), as redes neurais convolucionais são formadas por camadas e as que são mais importantes para formar um CNN são. A convolucional é a camada onde é extraída as características mais importantes das imagens, utilizando um filtro que passa pela imagem e gera um novo conjunto de dados, o mapa de características, que tem as informações extraídas. A camada de ativação tem a função de introduzir não-linearidade ao modelo, após a camada de convolução é aplicada uma função matemática, podemos utilizar como exemplo a ativação ReLU (Rectified Linear Unit) que ao ser aplicada transforma os valores negativos em zero, mantendo os valores positivos inalterados, ou seja faz uma

transformação na camada de saída da camada de convolução, tal ativação ajuda CNN a resolver problemas complexos.

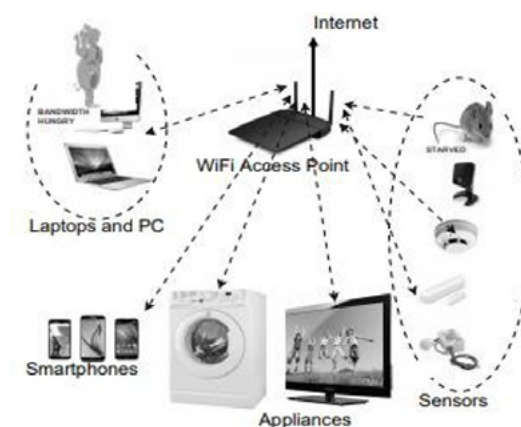
A camada de pooling tem como objetivo reduzir a dimensão espacial (largura e altura) da entrada, ou seja, diminuir os mapas de características que são gerados pela camada de convolução, fazendo isso é possível diminuir o número de parâmetros e a carga computacional da rede. Por exemplo, utilizando o Max Pooling onde um filtro passa pela imagem, selecionando o valor máximo de cada bloco de pixels, assim diminuindo a dimensão espacial de guardando as informações mais importantes. Totalmente Conectada (FC) tem como principal função combinar as características extraídas das camadas anteriores, e assim com todos esses dados pode interpretá-los pra produzir uma saída final.

O conceito de Internet of Things (IOT) é algo complexo, pois possui diferentes interpretações sobre seu significado. Porém de maneira geral, IOT pode ser entendido como a conexão de objetos físicos à internet, por meio de pequenos sensores ou dispositivos embarcados, criando um ambiente onde a tecnologia está presente, e onde várias informações podem ser transmitidas. O que todas as definições de IOT tem em comum é a ideia de sensores, computadores e objetos interagindo entre si, processando e trocando informações em um contexto de alta conectividade (Magrini, 2020). De acordo com Lima *et al.* (2023) uma das principais inovações trazidas pela indústria 4.0 é o conceito de internet das coisas (IOT), que se destaca em diversos setores devido sua capacidade de se moldar a realidade de diversos problemas, a utilização de dispositivos inteligentes, capazes de tomar decisões e monitorar diversos processos essenciais para a indústria, tem se tornado cada vez mais frequente dispositivos com a capacidade de receber e enviar dados (Lima *et al.*, 2023).

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo bastante poderoso, desenvolvido pela empresa Espressif Systems. Onde é bastante utilizado em aplicações envolvendo internet das coisas,

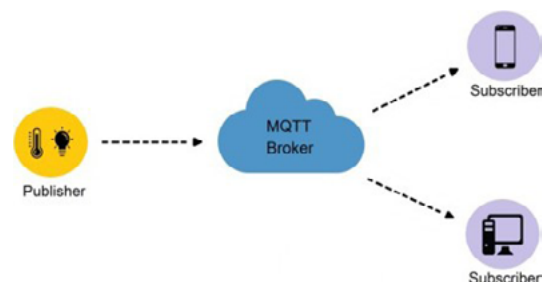
pois possui alta capacidade de conectividade Este já possui integrado Wi-fi e bluetooth o que permite que dispositivos se comuniquem sem fio de maneira eficiente, pode ser programado usando a IDE do Arduino, assim tem a vantagem de já poder usar várias bibliotecas já consolidadas (Hallberg, 2023). Pode ser utilizado principalmente para a aquisição de dados através de sensores e envio de informações, e disponibilizá-las através de webservices ou realizar solicitações da web (Monk, 2024).

Figura 2 - Cenário IoT em comunicação Wi-Fi



Fonte: Pokhrel et al. (2019).

Podemos dizer que a tecnologia Wi-fi é um dos meios sem fio mais conhecidos mundialmente, estando presente em diversos dispositivos do nosso dia a dia, principalmente através de dispositivos inteligentes como, celulares e computadores. Mas agora em dispositivos embarcados, utilizando o ESP32, é difícil não associar seu uso em comunicação sem fio(wireless) e internet (Hallberg, 2023). Com o crescimento de dispositivos inteligentes integrados com a internet, as redes wi-fi tem papel importante em conectar todos esses dispositivos, pois na maioria dos cenários IoT, envolve um fluxo de troca de mensagens (Pokhrel; Vu; Cricenti, 2019).

Figura 3 - Arquitetura de Comunicação MQTT

Fonte: Lena e Oliveira (2019).

O protocolo de comunicação MQTT (Message Queue Telemetry Transport) é um protocolo bastante utilizado na comunicação entre dispositivos IoT. Foi desenvolvido pela empresa IBM com o propósito de fazer a comunicação entre máquinas (Silveira *et al.*, 2021; Lena e Oliveira, 2019). É um protocolo de mensagens otimizado e de baixo consumo de recursos, ideal para a comunicação entre dispositivos da Internet das Coisas (IoT). Ele se destaca por sua eficiência na troca de mensagens em tempo real, sendo particularmente útil para dispositivos com limitações de processamento e energia, como sensores e dispositivos móveis (Bueno, 2024). Para fazer essa comunicação MQTT é utilizada uma arquitetura de mensagens Publisher/Subscriber, esse padrão utiliza uma comunicação assíncrona, na qual existe um intermediário Broker que é responsável por gerenciar todas as comunicações no sistema MQTT, assim o Broker recebe as mensagens do Publisher e direciona essas mensagens para o Clientes, que assinam um tópico (Souza, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento utilizado foi um notebook Acer Aspire, uma webcam C920S e um dispositivo de acionamento ESP32. Visto que

com esse hardware era possível obter uma resposta mais estável. Assim o primeiro passo foi desenvolver um pequeno sistema que pudesse capturar imagens em tempo real, para que pudesse ser realizado o cadastro de novas pessoas em um banco de dados. Essa captura salva uma imagem cheia, e se uma face for detectada é retornado somente a região da face ROI (Region of Interest) dimensionada para 140x140 pixels, para isso podem ser utilizadas duas técnicas, Harcascade e SSD (Single Shot MultiBox detector), nessa pesquisa optamos por usar o SSD por ser mais assertivo e mais robusto, por ser uma abordagem baseada em redes neurais. Ao ser iniciado o código, antes de ser iniciada a captura das imagens, é solicitado que inserção do nome da pessoa que será cadastrada, onde será criado um diretório para o um treinamento futuro. Foi utilizado um número de 20 imagens para aquisição, visto que com essa quantidade de amostras é possível realizar um treino. Tendo a base de dados com as amostras separadas por nome, já é possível realizar um treinamento.

Figura 4 - Aquisição de amostras

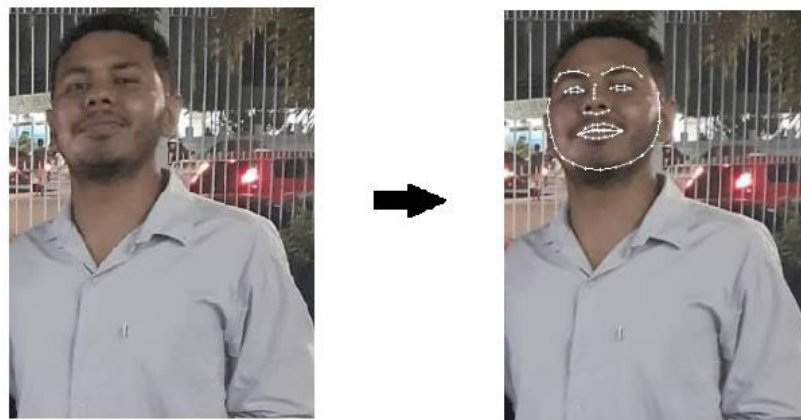


É possível visualizar 20 imagens dentro de um diretório, de modo organizado e com o nome da pessoa e a sua numeração, com a base de dados formada, é possível realizar a etapa de codificação facial, onde vamos extrair as principais características do rosto, como: Olhos, nariz, boca, sobancelha. Isso pode ser obtido utilizando uma técnica de Deep Learning. usando uma rede RESNET um modelo de arquitetura muito poderoso para extrair características faciais. Deep learning é a técnica aplicada ao conjunto de dados existente na base de dados, com as imagens dos rostos já segmentadas, é usado a biblioteca Face_Recognition, essa biblioteca é capaz de usar um modelo de rede neural convolucional (CNN), embutido dentro dela, está o modelo RESNET (Residuos Network) que é uma arquitetura de rede neural profunda.

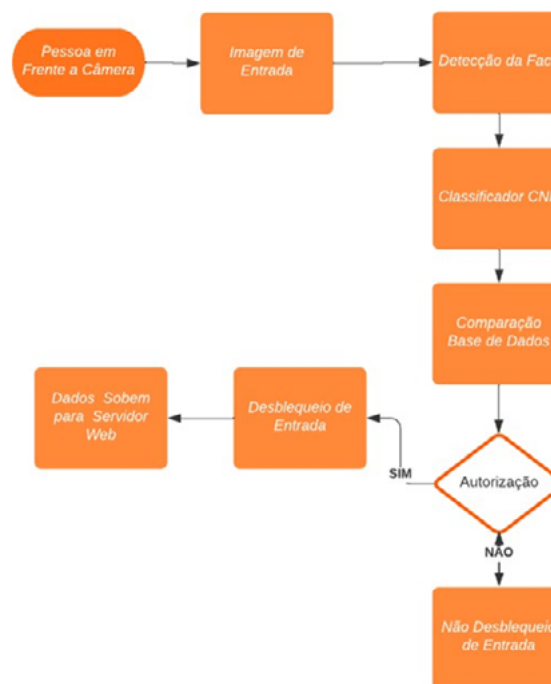
Utilizando-se as capturas os dados capturados do rosto, é possível gerar a codificação facial, realizada através da CNN treinada especificamente para aprender a representar rostos de maneira única, pois essa já foi treinada previamente com um grande número de amostras de rosto, assim usando a biblioteca face_recognition podemos usar esse treinamento para descrever nossos próprios marcos faciais, quando passamos um conjunto de dados de uma pessoa, que são as 20 imagens aplicadas a ROI no rosto, e passamos para a face recognition, é retornado um vetor único com 128 dimensões que representam essa face, nesse vetor estão presentes as marcas faciais das principais características: olhos, boca, sobancelha, nariz, contorno do rosto. Com o conjunto de todas essas informações, esse vetor retorna valores únicos para um rosto específico, assim diferentes pessoas terão vetores únicos que podem ser usados para calcular uma distância euclidiana, que é uma maneira simples de comparar rosto, é uma forma de medir o quão próximo os marcos faciais de uma pessoa são próximos dos marcos já cadastrados, sendo esses marcos representados nos vetores. um valor baixo indica uma maior aproximação de determinado rosto,

e um valor alto indica uma não similaridade, ou seja, pessoas diferentes, o que torna possível a comparação de diversas pessoas em uma base de dados.

Figura 5 - Extração das características faciais



A Figura 6 apresenta o fluxograma das etapas do sistema do sistema de reconhecimento facial com IoT. Para fazer o reconhecimento facial, deve haver uma entrada a ser detectada, uma pessoa em frente a câmera, assim que uma pessoa é detectada é feito a captura de imagens, como a região do rosto da pessoa detectada, é acionado o classificador CNN que verificara se os descritores faciais da pessoa em frente a câmera correspondem com a de alguma pessoa que foi registrada na base de dados de acordo com a etapa anterior.

Figura 6 - Arquitetura do sistema reconhecimento facial

Fonte: elaborado pelos autores.

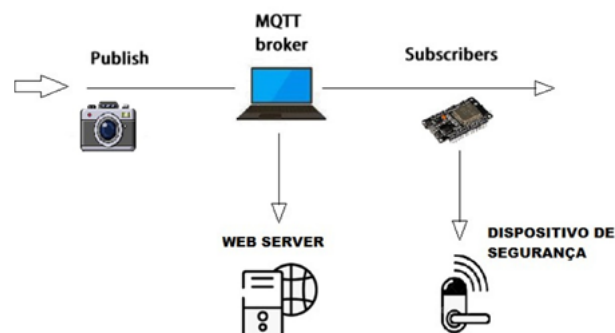
Com uma pessoa em frente a câmera, é inicializado o sistema, sendo capturada sua imagem geral, e no bloco de detecção de face é extraída somente a região do rosto da pessoa, somente é considerado um rosto, quando todos os principais marcos faciais são detectados; Olhos, nariz, boca, sobrancelha, contorno do rosto. Após isso, no classificador CNN, é utilizada a imagem do rosto detectado e é passado para a CNN, que extrai as características faciais e retorna o vetor com 128 dimensões, e com esse vetor, é possível fazer a comparação com a base de dados através de uma distância euclidiana, realizada no bloco de comparação. Assim então, se a pessoa pertencer a base de dados, é acionado o dispositivo para desbloqueio de entrada, e em seguida os dados são carregados no servidor web no

último bloco, através desse servidor será possível visualizar os dados da pessoa que passou pelo sistema.

ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO IOT

A infraestrutura da aplicação foi desenvolvida em um ambiente com os seguintes elementos, notebook usado como servidor MQTT e servidor Web, um microcontrolador ESP32 (Iot), uma câmera para aquisição das imagens de entrada. Todos os dispositivos estão em uma rede local via Wi-fi. Essa infraestrutura pode ser visualizada na figura 7.

Figura 7 - Arquitetura de comunicação Iot

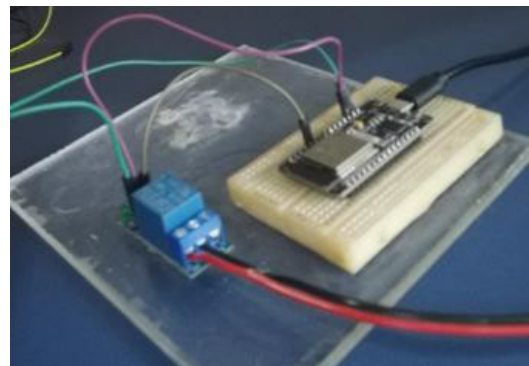


Fonte: elaborado pelos autores.

O sistema da infraestrutura da figura 7 é inicializado através de uma câmera (Publish), entrada do sistema que realiza o reconhecimento facial e envia essa resposta através de um tópico para o Broker, que é o intermediário da aplicação, através deles é feita a comunicação do Publish e Subscribers que estão dentro de um mesmo tópico. Assim o dispositivo ESP32 que é o nosso Subscribers recebe uma informação do Broker para acionar o dispositivo de segurança. O broker MQTT também envia informações para o servidor web, assim com esse dispositivo conectado à internet, é possível visualizar os dados através de qualquer smartphone com acesso à internet. Na figura 8 podemos

ver o circuito do dispositivo de chaveamento lot, com esse aparato é possível ativar uma chave de controle de modo sem fio, fazendo uma comunicação através do protocolo MQTT, assim esse dispositivo serve para demonstrar que a aplicação pode ser flexível e aplicada em diversos setores na área de segurança e controle.

Figura 8 - Circuito de acionamento lot



Fonte: elaborado pelos autores.

O circuito de acionamento é formado por um ES32, que é o dispositivo de controle do circuito lot, este recebe as informações enviadas do Broker, assim o dispositivo esp32 age como subscribe recebendo informações do broker e com esses pacotes de dados recebidos, faz o acionamento do Relé que está ligado diretamente com uma fechadura. O uso de uma fechadura simples tem o objetivo de generalizar aplicação, indicando que pode ser inserido em diversos ambientes onde seja preciso para fazer o controle de entrada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de reconhecimento facial utilizando Deep Learning foi de fazer predições de pessoas baseadas nas características

faciais. A figura 9 mostra um exemplo de um sistema de reconhecimento facial utilizando técnicas de Deep Learning. Nessa imagem é possível visualizar resposta da CNN sendo aplicada no rosto de uma pessoa, gerando um retângulo ao redor do rosto, indicando que o sistema fez um reconhecimento, mostrando o nome da pessoa, na parte inferior do retângulo é mostrado um número que representa a confiança do sistema nessa detecção.

Figura 9 - Reconhecimento facial aplicado



Fonte: foto capturada pelos autores.

A partir do momento que a câmera detecta alguém presente na área de captura, é realizada uma busca de um rosto utilizando a técnica de SSD (Single Shot MultiBox detector), que após identificar um rosto captura suas marcas faciais e compara com a base de dados, se esta pessoa estiver cadastrada, irá ser mostrado um Bolding Box em volta do rosto da pessoa, com seu nome e a confiança da detecção, esse número reflete a precisão do modelo em identificar a pessoa com base nas características faciais analisadas.. Utilizando esta técnica obteve êxito ao fazer a predição correta com todas as pessoas. Foram cadastradas um total de 10 pessoas, e os testes foram realizados utilizando as mesmas condições ambientes.

Quando o sistema está rodando e alguém se posiciona em frente a câmera, no momento da detecção e reconhecimento é possível visualizar uma queda no frame significativa, o que acontece devido a CNN sendo executada, apesar dessa queda e reconhecimento facial ocorre sem atrasos. Apesar do modelo se comportar muito bem no reconhecimento, isso não acontece tão bem se o usuário estiver usando uma máscara. A figura 10 mostra a detecção do autor como na imagem acima, apesar dessas imagens estarem nas mesmas condições ambientes, o número que representa a confiança da detecção aumentou, isso acontece devido ao fato do rosto estar usando uma máscara.

Figura 10 - Reconhecimento com máscara



Fonte: foto capturada pelos autores.

Apesar do resultado positivo da classificação, notou-se erros no reconhecimento quando presente uso uma máscara. Isso acontece devido a diversas características faciais estarem ocultas no momento da extração das características, assim o classificador usa somente os presentes na imagem. O acionamento do dispositivo de controle de entrada foi realizado utilizando o protocolo de comunicação MQTT, seu acionamento ocorreu de maneira como proposta, ou seja, só liberava o acesso quando pessoas previamente cadastradas na base de

dados se apresentavam ao sistema. Utilizando o framework Streamlit, foi desenvolvido um servidor web, onde é possível visualizar as pessoas ao qual o sistema garantiu acesso, permitindo que seja possível visualizar em tempo real as pessoas que adentraram no local.

A figura ilustra a interface de um servidor web desenvolvido com o framework Streamlit, onde é possível visualizar em tempo real as pessoas que tiveram o acesso garantido pelo sistema de reconhecimento facial. O sistema exibe as imagens das pessoas que foram identificadas e autorizadas a entrar no local, permitindo que, através da interface, seja monitorado o fluxo de pessoas com base os reconhecimento. Dessa forma, o Streamlit proporciona uma visualização interativa e dinâmica, mostrando informações importantes para facilitar um sistema de gestão.

Figura 11 - Servidor Web com Streamlit



Sistema de Entrada

Base de Dados de Entrada de Pessoas:

	Nome	Horário de Entrada	Departamento	Imagem
5	Luana Santos	08:20	Suporte	
3	Ana Costa	08:00	Marketing	
1	Maria Oliveira	09:00	Recursos Humanos	
4	Carlos Lima	09:15	Vendas	
2	Pedro Souza	08:45	TI	
0	João Silva	08:30	Financeiro	

Selecione um departamento

TI

Entradas no Departamento de TI:

↑	Nome	Horário de Entrada	Departamento	Imagem
2	Pedro Souza	08:45	TI	

Fonte: dados coletados pelos autores.

É possível visualizar uma tabela onde mostra todas as pessoas que deram entrada no sistema, seus horários de entrada, e seus departamentos de trabalho, assim como uma pequena imagem para fácil visualização da pessoa, que é retirada da base de dados criada para treinamento da CNN. Foi adicionado um filtro para segmentar a busca de pessoas, assim é possível encontrar quem deu entrada no sistema por determinado departamento. Isso é possível quando integramos o sistema de reconhecimento facial com uma interface web, utilizando o framework Streamlit, o que torna possível a visualização em tempo real dos dados das pessoas que derem entrada no sistema.

CONCLUSÃO

Este estudo descreveu a criação de um sistema de reconhecimento facial combinado com o acionamento de um dispositivo IoT. O objetivo pode ser considerado um sucesso porque o reconhecimento de face usando a técnica de Deep Learning foi capaz de fazer o reconhecimento de todas as pessoas que passaram pelo sistema, mesmo com pequenas variações nas condições de ambiente, como a luminosidade. O dispositivo IoT conseguiu executar com sucesso o acionamento da carga quando alguém dentro da base de dados realizasse a entrada no sistema. O servidor web se funcionou de forma adequada, o framework Streamlit se mostrou estável em plotar as informações de entrada do sistema, e foi possível fazer um monitoramento contínuo e eficiente. Essa pesquisa pode adicionar um avanço no desenvolvimento de sistemas com inteligência artificial integrados com IoT, para o desenvolvimento de sistemas inteligentes, possuindo fortes aplicações em setores que necessitem controle de acesso.

A partir dos resultados gerados foi evidenciado uma inconsistência das predições quando o usuário apresenta o uso de máscaras, isso acontece pois o sistema não consegue colher algumas

características dos rostos que se fazem ocultadas pela máscara, o que pode ser melhorado com implementação de um modelo mais robusto, que possa fazer as previsões somente com os dados que não são ocultados pela máscara. Apesar desse sistema ter sido testado em condições de iluminação diferentes, não foi realizado mudanças extremas nessas condições, o que pode levar a problemas de previsão em ambientes muito escuros ou em céu aberto com muita luminosidade.

REFERÊNCIAS

- AEZ-TRIGUEROS, D.; MENG, L.; HARTNETT, M. Face recognition: from traditional to deep learning methods. *ArXiv*, 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.00116>.
- BUENO, R. B. **IoT Básico: uma introdução à internet das coisas (empreendedorismo digital)**. 2. ed. S.l.: Edição do autor, 2024.
- HALLBERG, G. **Wireless communications with Arduino and the ESP32**: Book 7 of the Arduino Short Reads Series. 2. ed. Salmiya: North Border Tech Training, 2023.
- HOSAKI, G. Y.; RIBEIRO, D. F. Deep learning: ensinando a aprender. **RGE - Revista de Gestão e Estratégia**, v.1, n.3, p. 36-50, 2021.
- KAUR, G.; SINHA, R.; TIWARI, P. K.; YADAV, S. K.; PANDEY, P.; RAJ, R.; VASHISTH, A.; RAKHRA, M. Face mask recognition system using CNN model. **Neuroscience Informatics**, v. 2, n. 3, p. 100035, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.neuri.2021.100035>.
- LENA, F. Q.; OLIVEIRA, A. M. **Utilização do protocolo MQTT para sistemas de IoT voltado para automação residencial**. Santa Maria: Universidade Franciscana, 2019
- Li, Y.; Wang, Z.; Li, Y.; Zhao, X.; Huang, H. Design of face recognition system based on CNN. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1601, n. 5, p. 052011, 2020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/5/052011>.
- LIMA, P. R. S.; ALBUQUERQUE, J. P. M.; RODRIGUES, A. B. M.; LIMA, D. L.; VASQUES, K. B. P. P. Internet of things e indústria 4.0: revisão sistemática bibliométrica. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 5, p. 4424-4436, 2023. <https://doi.org/10.56083/RCV3N5052>.

MAGRINI, E. **Internet das coisas**: conceitos, tecnologias e aplicações. São Paulo: XYZ, 2020.

MONK, S. **Programming ESP32**: Learn MicroPython coding and electronics. Leeds: MonkMakes Press, 2024.

POKHREL, S. R.; VU, H. L.; CRICENTI, A. L. Adaptive admission control for IoT applications in home WiFi networks. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, v. 19, n. 12, p. 2731-2742, 2019. <https://doi.org/10.1109/TMC.2019.2935719>

RADZI, S. A. *et al.* IoT based facial recognition door access control home security system using raspberry pi. **International Journal of Power Electronics and Drive Systems**, v. 11, n. 1, p. 417, 2020. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i1.pp417-424>.

ROSEBROCK, A. **Deep learning for computer vision with Python**. Pittsburgh: PyImageSearch, 2017.

SAID, Y.; BARR, M.; AHMED, H. E. Design of a face recognition system based on convolutional neural network (CNN). **Engineering, Technology & Applied Science Research**, v. 10, n. 3, p. 5608-5612, 2020. <https://doi.org/10.48084/etasr.3490>.

SHARMA, S.; BHATT, M.; SHARMA, P. Face recognition system using machine learning algorithm. *In*: **2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)**. IEEE, 2020. p. 1162-1168. doi:10.1109/icces48766.2020.9137850.

SILVEIRA, R. S. *et al.* Aplicação do protocolo MQTT para integração de dispositivos IIoT a sistemas de automação industrial em um ambiente de testes. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, v. 4, n. 2, p. 1-15, 2021.

SOUZA, D. S. **Estudo da aplicação de um sistema IoT baseado no protocolo de comunicação MQTT a área da robótica industrial**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.316>.

17

Flavia Rafaela Silva de Souza

Samya Ribeiro Oliveira

Lucas da Silva Oliveira

Juan Carlos Lopes de Andrade Agostinho

Carla Simone Freitas de Melo

Gabriel Fortes Marques

Vitor Bremgartner da Frota

Hugo Alves Velozo

Alyson de Jesus dos Santos

Daniel Nascimento-e-Silva

A SOLAR TRACKER WITH ARDUINO AND IOT FOR TEACHING PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING

SUMÁRIO

ABSTRACT:

With the increasing reduction in the cost of components, the use of solar energy has become increasingly viable over the years, consolidating itself as a sustainable alternative. This work aims to popularize this clean and renewable energy source, presenting the application of a didactic solar tracker, previously developed based on Arduino, to power two Lilygo TTGO boards. These boards communicate over long distances using the LoRA (Long Range) protocol, monitoring a DHT11 temperature sensor, in addition to voltage and current sensors. The project was conducted with the co-participation of High School students in Electronics, Undergraduate in Control and Automation Engineering and Specialization in Internet of Things (IoT), all from the Federal Institute of Amazonas (IFAM), who participated in both the assembly and the analysis of the collected data. The main objective is to demonstrate the feasibility of a self-sustainable system for environmental communication in remote areas, where solar energy can guarantee the continuous operation of the system. The results confirm that the system operates remotely and efficiently, powered by the solar tracker, and highlight the potential of Lilygo TTGO boards for monitoring environmental data in distributed sensor networks. The project integrates concepts from IoT, Electronics, Physics and sustainability, reaffirming the relevance of these technologies in the current context. In addition, the project reinforces the value of the Project-Based Learning (PBL) methodology. This approach covers a much larger number of concepts compared to traditional classes segmented by subject areas. This method also promotes the development of critical thinking in students, while encouraging scientific contribution, making them more active participants in the teaching-learning process.

Keywords: Solar Tracker, Project-Based Learning, IoT, Solar Energy, Sustainability.

SUMÁRIO

Notes: This chapter was originally published in: *F. Silva, V. Bremgartner, S. Oliveira, L. Oliveira, J. Agostinho, C. Melo, G. Marques (2024) A SOLAR TRACKER WITH ARDUINO AND IOT FOR TEACHING PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS THROUGH PROJECT-BASED LEARNING, ICERI2024 Proceedings, pp. 9399-9405. <https://doi.org/10.21125/iceri.2024.2382>*

INTRODUCTION

The Sun is one of the oldest and most widely known sources of energy for humanity. Over time, humans have developed ways to harness this inexhaustible source, not only for the metabolism of living beings, but also to convert it into electrical energy, bringing countless technological and sustainable benefits [1].

The conversion of solar energy into electricity occurs through photovoltaic cells, which capture energy packets called photons, energizing the electrons present in semiconductor materials [1]. This technology is relevant in High School, as it aligns with the specific competency of the Natural Sciences area of the Brazilian National Common Curricular Base (BNCC), which proposes to analyze natural phenomena and technological processes, based on the relationships between matter and energy, to propose individual and collective actions that improve production processes, minimize socio-environmental impacts and improve living conditions at a local, regional and/or global level. [2].

Although this text refers to Brazilian guidelines, the proposal described in this article can be applied in other countries, since sustainability education, associated with Physics practices, is something considered universal. Therefore, it is essential to show students how scientific phenomena drive the advancement of technologies, such as the conversion of light into electricity in solar cells through electromagnetic waves, contributing to the generation of clean energy [2]. By exploring these concepts, students not only learn about the different types of technologies available, but also have the opportunity to experiment with them through practical devices.

The approach presented in this article allows students to evaluate the functionalities and benefits of technologies, as well

as understand their limitations and possibilities for improvement, developing a critical mindset. This learning process promotes scientific literacy and prepares students to contribute more consciously and innovatively to the scientific and technological development of society.

Internet of Things (IoT) has emerged as a powerful ally of modern technologies, driving the study of sensors and actuators. These physical devices, which communicate via network [3], are capable of transmitting essential information for both everyday life and academic purposes, such as, for example, measurements of electric current or potential difference on a solar panel. The great advantage of this type of system is its portability and wide range of applications, allowing efficient remote measurement and monitoring. Therefore, we sought to improve the understanding of 3 students of Technical High School in Electronics, 1 student of Undergraduate in Control and Automation Engineering, in addition to 1 student of Specialization in Internet of Things, from the Federal Institute of Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI) on Physics concepts, such as electric current, voltage, power, electric energy, solar energy and sustainability, through the active methodology of real Project-Based Learning (PBL), where students are challenged to solve practical situations, assuming the role of protagonists of their own learning, while the teacher acts as a facilitator of the process [4].

METHODOLOGY

The equipment used was previously developed from a work published in ICERI 2023 (*A solar tracker with Arduino for teaching photovoltaic energy through project-based learning*) [3], addressing concepts of Electronics, Programming and Environment in the same

way. Therefore, a meeting was first held, shown in Fig. 1, on how to use the same system by making modifications, now including both the IoT part and Physics Teaching through electrical measurements. The students of the Undergraduate and Specialization courses in IoT helped the High School students in their activities.

Figure 1 - Multidisciplinary team meeting to define the project specifications



Source: Own work.

During the meeting, it was established that voltage, current and temperature sensors and two Lilygo microcontrollers that have the combination of LoRA with ESP32, this one based on Arduino would be added to the apparatus. With that, we have, in addition to the following materials, already used in the previous work [3]:

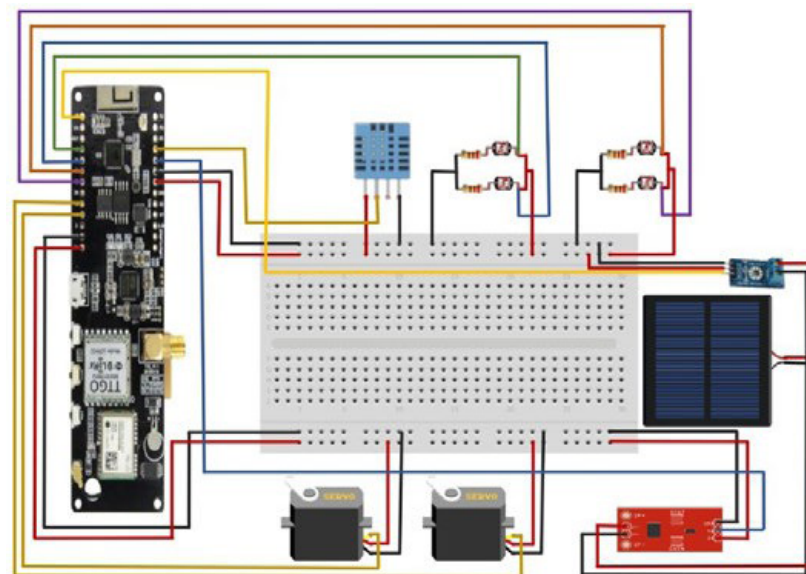
- 1 Arduino Uno SMD Board + USB Cable for Arduino;
- 1 Mini Photovoltaic Solar Panel 6V 125mA;
- 1 MDF Structure for Solar Tracker;
- 2 Micro Servo Motor 9g SG90 180°;
- 1 Port Extender with Jack P4;
- 4 LDR 5mm Luminosity Sensor;
- 5 Philips Screw M3 x 10mm Metallic;
- 6 Premium Jumper for Male-Female Protoboard 20 cm;
- 2 Premium Jumpers for Male-Male Protoboard 20 cm;
- 4 Premium Jumper for Male-Male Protoboard 30 cm;
- 2 Premium Jumper for Female-Female Protoboard 30 cm;
- 1 Switching Power Supply 5VDC 1A.

The following have now been added to this work:

- 2 Lilygo T22_V1.1 LoRA GPS Board;
- 1 Current sensor ACS712 20A;
- 3 Stepper motor cables JST XH 2.54 2 pin 20cm (2 wires);
- 1 Voltage sensor module 0-25V DC;
- 1 Super mini solar charger board Lipo CN3065;

After defining the materials that would be used, the following electrical diagram was created, shown in Fig. 2.

Figure 2 - Diagram of the solar tracker with sensors

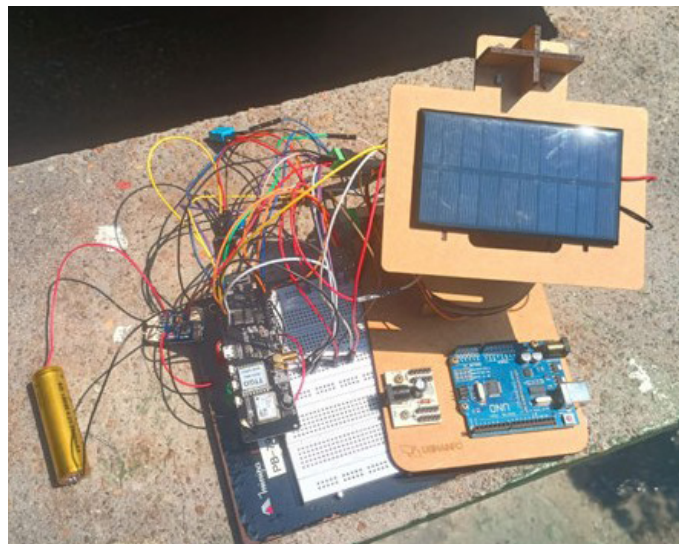


Source: Own work.

The sensors were configured as follows: the voltage sensor is connected to pin VP (GPIO 36), which is an ADC (analog-to-digital converter) pin and receives 3.3V power. The current sensor is on pin 0 (GPIO 0), also as an analog input, and is powered by 5V. The temperature sensor is connected to pin 4 (GPIO 4) and is powered by 3.3V.

Then, after the electrical diagram, the sensors were physically connected to the solar tracker. Fig. 3 shows the assembled circuit.

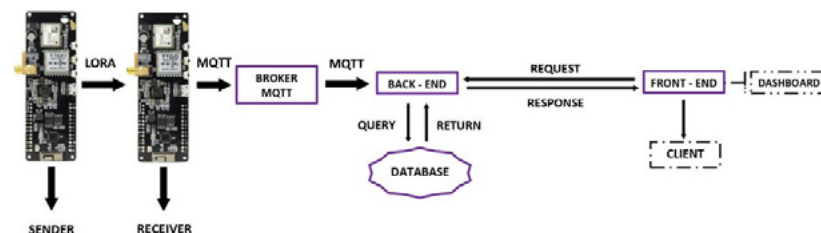
Figure 3 - Solar tracker with sensors



Source: Own work.

When we placed the solar tracker in sunlight, the following questions were asked: can the current, temperature, voltage, and humidity sensors take measurements? And if they do, can they communicate this to another client Lilygo microcontroller? To answer this question, a web architecture was sketched, shown in Fig. 4, of how this communication would happen.

Figure 4 - Web architecture of the system



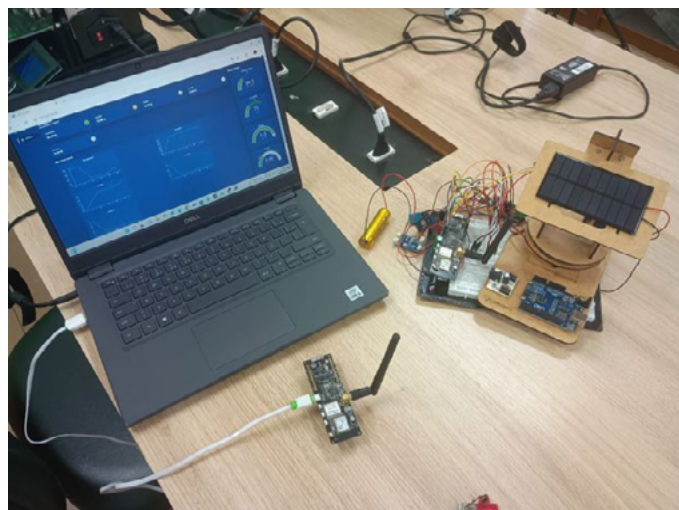
Source: Own work.

The two Lilygo boards have LoRA (Long Range) systems, which communicate with each other by sending sensor information (via the sender board) and the other by receiving information from those sensors (via the receiver board).

Using the MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol, this works as a type of publication by sending data to an intermediary server, the broker, which distributes the information to the client. The MQTT protocol is widely used in scenarios like this due to its advantages of allowing data to be sent efficiently, even on slow internet connections, and it offers flexibility by not requiring the sender to know who the recipients of the information are.

It is the front-end that creates the visual part of the dashboard by requesting information from the back- end, which in turn obtains the information from the database and returns it to the front-end, as shown in Fig. 5. All this information is applied to the dashboard and is consequently shown to the client who was accessing the web page.

Figure 5 - Dashboard operation with information received by the client



Source: Own work.

Given the measurements made, so that High School students can better visualize physical phenomena, it is important that they already know the concepts of electric current, voltage, power and electrical energy. Since we work with a solar panel, electrical energy is being generated. From the sensors on the device, we calculate the power (P) as follows, in Eq. (1) [5]:

$$P = i \cdot U \quad (1)$$

Where (i) is the electric current and (U) is the electric voltage. Then we can calculate the electrical energy (E), which is being generated from Eq. (2):

$$E = P \cdot \Delta t \quad (2)$$

Where (Δt) is the time interval in which that power was applied. After this, students are able to have these Physics concepts in a more consolidated way. They can calculate the electrical appliances in their home and later have an idea of how much electrical energy they would need to obtain from solar panels, if they opted for clean, solar energy. In addition, students saw in practice the physical content involving electrical energy, in a sustainable way, previously presented only with concepts and formulas.

RESULTS

Confirmation of the correct functioning of the sensors was obtained by successfully sending the measurements to the server, establishing a client-server communication network. This network allows the visualization of information such as humidity, temperature,

current, voltage, and power in real time, organized in an easy-to-interpret dashboard, shown in Fig. 6.

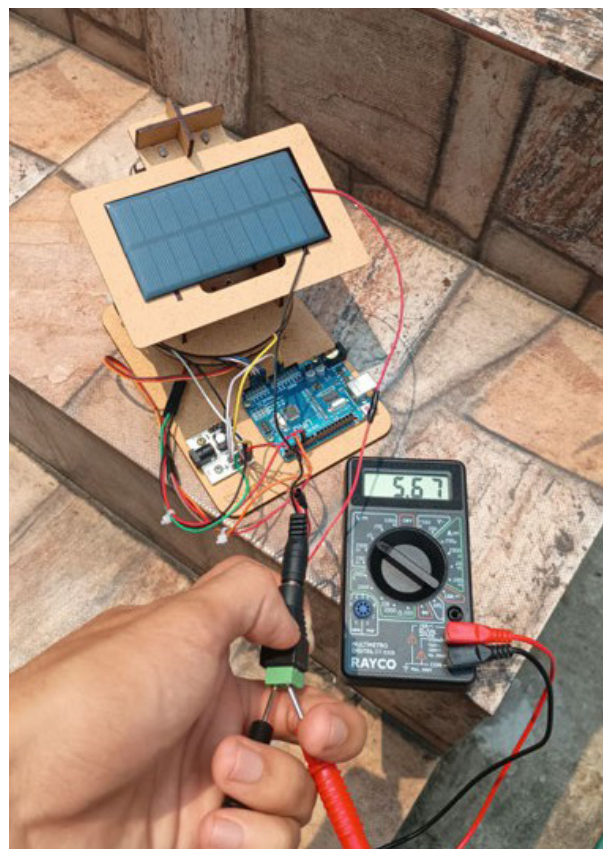
Figure 6 - Solar tracker dashboard



Source: Own work.

Using a multimeter and Eqs. (1) and (2), the High School students performed calculations to verify the consistency of the measurements displayed on the dashboard and found that the values were close. Fig. 7 shows the voltage measurement on the multimeter, which was 5.67 V, close to the 5.8 V shown on the dashboard.

Figure 7 - Measuring voltage with a multimeter



Source: Own work.

Furthermore, the students observed that on days with milder temperatures and high luminosity, the efficiency, based on the displayed power, was higher, as indicated by the temperature sensor readings. This type of analysis is important to avoid confusion between heat and luminosity. Fig. 8 shows the team demonstrating the system developed.

Figure 8 - IoT-enabled solar tracker completed by students



Source: Own work.

The students successfully achieved the goal of remotely monitoring the variables measured by the sensors and monitoring the efficiency of the system in real time. This result was possible due to the Project-Based Learning methodology, in which students actively participate within a maker culture, promoting more practical and engaging learning.

CONCLUSIONS

Through the development of this work, it was possible to associate Physics, Electronics, IoT and sustainability in order to show other energy sources to society, and this is intensified among Brazilian

students, since this country is still very dependent on hydroelectric plants, which have some disadvantages such as deforestation of green areas. On the other hand, in regions with a lot of sunlight, such as the Amazon, the use of solar panels becomes a great option.

Projects like this are highly relevant in the educational context, as they integrate different areas and levels of knowledge. Three students from the Technical High School in Electronics, one undergraduate student in Control and Automation Engineering, and one student specializing in the Internet of Things participated in this work. During the development, it was possible to observe not only the autonomy of the participants, but also the strong cooperation as a team, highlighting the importance of collaborative work.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is a result of Research & Development Project ARANOÚÁ funded by Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda under terms of Federal Law No. 8,387/1991, in accordance with art. 21 of Decree No. 10.521/2020.

REFERENCES

- [1] MAKA, A. O.; ALABID, J. M. Tecnologia de energia solar e seus papéis no desenvolvimento sustentável (Solar energy technology and its roles in sustainable development). **Clean Energy**, Volume 6, Ed. 3, june 2022, pages 476-483.
- [2] BRAZIL. **Common National Curriculum Base** (Base Nacional Comum Curricular, BNCC). Brasília. 1. ed. [S.l.]: 2018, 2018. v. 1. 2, 3

- [3] DESSIMONI, K.; ROZÁRIO L., LITAIFF, V.; NINA, S.; ARAÚJO, A.; SILVA, G. da; BREMGARTNER, V. A SOLAR TRACKER WITH ARDUINO FOR TEACHING PHOTOVOLTAIC ENERGY THROUGH PROJECT-BASED LEARNING, **ICERI2023 Proceedings**, p. 4080-4086, 2023.
- [4] DILEKLI, Y. Aprendizagem baseada em projetos (Project-Based Learning). *In: Paradigm Shifts in 21st Century Teaching and Learning*, 53-68. Hershey, PA: IGI Global, 2020.
- [5] SOUZA, F. **Uma proposta para o ensino de circuitos elétricos no ensino médio com o uso da ABP e do simulador QUCS** (A proposal for teaching electrical circuits in high school using PBL and the QUCS simulator), Manaus, Brazil, 2020.

SOBRE OS AUTORES E AS AUTORAS

Alyson de Jesus dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: alyson.santos@ifam.edu.br

André Luiz Gomes de Medeiros

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: andre.zinhogm73@gmail.com

Carla Simone Freitas de Melo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: carla.melo@ifam.edu.br

Cristiano Campos Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: cristiano@ifam.edu.br

Daniel Nascimento-e-Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: danielnss@gmail.com

David Cristian da Costa Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: davidcristiancruz@gmail.com

SUMÁRIO

David Laureano dos Santos Figueira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2023204079@ifam.edu.br

Fernando Shogo Ito

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2023203939@ifam.edu.br

Flavia Rafaela Silva de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2023204328@ifam.edu.br

Francibel Neves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: bel.silves@gmail.com

Gabriel Fortes Marques

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2019004607@ifam.edu.br

Gabriel Marques de Albuquerque

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: gabrielmarques619@outlook.com

Hugo Alves Velozo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: hugo.velozo@ifam.edu.br

Jonas Januário dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: jonas.santos@ifam.edu.br

SUMÁRIO

Juan Carlos Lopes de Andrade Agostinho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2022311299@ifam.edu.br

Lucas da Silva Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2022306305@ifam.edu.br

Marcelo Machado

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: mac.brazill@gmail.com

Reginaldo Motta Cordovil de Vasconcelos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2023204687@ifam.edu.br

Renato Guimarães

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: renatoecat1@gmail.com

Ronaldo de Souza Magalhães

Universidade Federal do Amazonas.

E-mail: ronaldomagalha@gmail.com

Samya Ribeiro Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: 2022306234@ifam.edu.br

Sandro Haiden Teixeira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: sandrohaiden@gmail.com

SUMÁRIO

Silas Farias Fernandes Filho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: silas3fs@gmail.com

Thayller Raí Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: trlima57@gmail.com

Thiago Godinho Almeida

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: thiagoalmeidaa7x@gmail.com

Thiago Martins Maia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: mm.thiago@gmail.com

Vanderson de Lima Reis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: vanderson.reis@ifam.edu.br

Victor Duarte Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: victorduarte778@gmail.com

Vitor Bremgartner da Frota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: vitorbref@ifam.edu.br

Wendel da Costa Prado

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.

E-mail: wendelprado20@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

abordagem sistêmica 44, 45
 água potável 19, 37
 alcalinidade 19
 alertas 46, 49, 108, 277, 283, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 295, 297, 298, 307, 314, 369
 alimentação 21, 24, 34, 48, 139, 140, 170, 172, 199, 217, 322, 323, 324, 335, 342, 372, 373
 ambiente controlado 214, 234, 235, 364, 373, 379
 amostragem 45, 248
 AMS1117 25, 324
 API 247, 249, 267, 333, 337, 342, 364, 367, 368, 369, 374, 375, 383
 aplicabilidade 125, 256, 275
 aplicativo móvel 104, 112, 123, 124, 209, 214, 215, 223, 224, 226, 228, 229, 231, 233, 235
 aquarismo 18, 20, 35, 36
 aquisição de dados 45, 48, 51, 272, 399
 Arduino 31, 38, 137, 144, 171, 172, 199, 297, 317, 364, 374, 399, 411, 413, 414, 417, 418, 419
 armazenamento de dados 107, 212, 289
 arquitetura do sistema 47, 57, 287, 295, 297, 350, 376
 autenticação 142, 209, 211, 212, 213, 214, 216, 223, 224, 228, 230, 234, 235, 267, 270, 394, 395
 automação 20, 35, 43, 44, 63, 108, 124, 167, 210, 212, 237, 263, 264, 267, 268, 277, 320, 321, 342, 345, 364, 365, 367, 368, 372, 374, 381, 382, 384, 385, 390, 391, 392, 411, 412
 AutoML 45
 autonomia 251, 296
B
 bancos de dados 267, 268, 278, 290, 369
 barramento 25, 27, 323, 326, 327, 342
 bateria de lítio 27

Battery Management System 21
 bibliotecas 108, 112, 113, 144, 184, 232, 246, 252, 331, 342, 348, 352, 369, 399
 Blynk 18, 20, 21, 27, 28, 29, 30, 34, 35, 39, 287, 289, 290, 291, 295, 297, 298, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313
 BMS 4S 24, 25
C
 calibração periódica 42
 camada de análise 47
 case 23, 31, 35, 52, 55, 128, 186, 278, 300, 317, 319, 321, 330, 333, 335, 342, 391
 ciclo circadiano 19
 classificadores de falhas 46
 código-fonte 369
 coleta de dados 36, 39, 109, 110, 124, 135, 146, 147, 149, 156, 162, 172, 173, 175, 177, 183, 184, 187, 202, 241, 243, 245, 256, 263, 295, 297, 342, 350, 353, 371, 377, 380
 compilação 351
 comunicação 21, 27, 47, 48, 63, 79, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 97, 104, 105, 106, 107, 111, 112, 117, 121, 134, 137, 139, 141, 142, 144, 145, 156, 163, 166, 170, 184, 209, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 222, 223, 224, 225, 231, 232, 234, 235, 245, 247, 252, 253, 254, 261, 263, 264, 265, 266, 267, 289, 290, 291, 293, 294, 296, 298, 307, 313, 314, 316, 321, 327, 335, 350, 364, 366, 367, 368, 369, 373, 374, 375, 382, 383, 389, 395, 396, 399, 400, 405, 406, 408, 412
 condições climáticas 94, 134, 135, 144, 284, 294, 315
 conectividade 43, 47, 63, 65, 84, 85, 86, 87, 91, 97, 98, 112, 117, 123, 136, 142, 164, 194, 196, 204, 211, 213, 244, 246, 290, 291, 295, 296, 307, 308, 398, 399
 conectores wago 23
 consumo energético 42, 44, 47, 48, 51, 275, 276, 364, 371, 390

SUMÁRIO

- controlador de carga 335, 336
- conversor 197, 200, 217, 230, 231, 234
- corrente alternada 200
- corrente elétrica 45, 372
- criptografia 142, 267, 307
- custo-benefício 47, 139, 371
- D**
- dados em nuvem 184, 209, 223, 228
- dashboard 18, 20, 27, 29, 31, 34, 35, 36, 150, 247, 422, 424
- debug 379
- desempenho do sistema 78, 309
- desenvolvimento do sistema 47, 80, 214, 366, 373, 379, 381
- detecção de falhas 44, 47, 51
- dispositivo autônomo 18, 19, 36
- DS18B20 25, 31, 35
- dureza 19
- E**
- ecossistema 18, 113, 136, 144, 168, 235, 367
- edge computing 42, 45, 236
- eficiência energética 45, 108, 321, 365, 372, 392
- e-mails 21, 35
- endereço IP 147
- energia solar 18, 319, 320, 344, 427
- escalabilidade 44, 59, 62, 79, 108, 111, 114, 142, 210, 211, 212, 288, 290, 307, 308, 368
- escopo do projeto 296
- espaguete flutuador 30
- estabilidade de conexão 309
- estanho 300, 329
- estrutura metálica 20
- experiência 104, 108, 349, 385, 387
- explainable AI 46
- F**
- firmware 214, 223, 224, 232, 235, 297, 306, 307, 319, 321, 322, 331, 332, 333, 342, 374, 376
- flutuabilidade 30
- G**
- gráficos 27, 33, 49, 228, 230, 269, 308, 349, 350, 351, 353, 356, 359, 366
- H**
- HTTP 107, 112, 200, 204, 368, 371, 373, 374, 375
- I**
- I2C 25, 27, 48, 292, 294, 323, 326, 327, 335, 342
- IDE 31, 111, 112, 137, 144, 148, 171, 172, 246, 297, 351, 364, 374, 399
- IEEE 24, 27, 52, 53, 54, 55, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 93, 97, 98, 99, 100, 101, 127, 128, 129, 130, 131, 158, 159, 160, 186, 188, 189, 205, 206, 236, 237, 238, 239, 256, 257, 258, 259, 278, 279, 280, 281, 316, 317, 343, 344, 362, 391, 412
- impacto ambiental 16, 123, 307, 315
- incidência da luz 20
- InfluxDB 45
- infraestrutura 16, 42, 45, 61, 79, 89, 97, 98, 104, 105, 106, 110, 111, 134, 136, 167, 192, 194, 210, 211, 231, 262, 286, 288, 290, 291, 314, 405
- instrumentação 45
- integração de sensores 167
- interface gráfica 112
- Inter-Integrated Circuit 25
- Internet das Coisas 16, 18, 42, 43, 56, 58, 103, 104, 133, 134, 138, 157, 161, 162, 163, 194, 204, 208, 214, 215, 242, 261, 263, 267, 277, 284, 287, 293, 313, 364, 366, 367, 368, 391, 400
- interoperabilidade 43, 112, 194
- IoT 20, 21, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 79, 81, 82, 97, 98, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 117, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 133, 134, 137, 138, 157, 158, 159, 163, 164, 165, 166, 167, 183, 184, 185, 186, 188, 189, 194, 198, 204, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 213, 214, 215, 235, 236, 237, 238, 239, 241, 242, 243, 256, 257, 258, 263, 267, 279, 282, 284, 285, 286, 291, 293, 295, 296, 297, 302, 303, 308, 313, 314, 316, 317, 318, 319, 321, 322, 324, 334, 335, 341, 343, 344, 346,

347, 348, 349, 350, 361, 362, 363, 364, 366, 367,
368, 374, 375, 393, 394, 396, 399, 400, 403, 405,
410, 411, 412, 413, 414, 417, 418, 426

J

jumpers 144, 145, 218, 300

L

largura 65, 112, 138, 398

latência 45, 112, 241, 250, 251, 252, 256, 307, 313

LDR 35, 419

leituras 47, 48, 49, 298, 312, 380, 381

LoRaWAN 45, 98, 107, 133, 137, 141, 142, 151, 157, 158, 159, 314

LSTMs 45

luminosidade 18, 19, 20, 25, 27, 31, 34, 35, 36, 78, 105, 277, 410, 411

M

machine learning 45, 105, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 160,
188, 189, 241, 243, 244, 247, 248, 251, 252, 255,
256, 258, 278, 279, 280, 281, 314, 317, 360, 362,
391, 412

manutenção preditiva 42, 45

memória flash 24, 49, 139, 323, 333

microcontrolador 18, 21, 23, 24, 25, 27, 47, 48, 196, 204, 287, 289,
290, 291, 293, 295, 312, 313, 322, 323, 326, 342,
365, 371, 372, 373, 389, 392, 398, 405

micro SD card 20, 27, 33

miniplacas solares 24, 30

monitoramento 16, 17, 18, 36, 37, 40, 41, 42, 44, 45, 47, 48, 51, 69,
75, 77, 105, 107, 108, 133, 134, 135, 138, 142, 143, 144,
148, 150, 151, 155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 164,
165, 166, 167, 168, 169, 172, 176, 181, 182, 183, 184,
190, 191, 194, 195, 196, 199, 204, 210, 226, 241, 243,
256, 260, 261, 262, 263, 264, 267, 275, 276, 277,
282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291,
294, 295, 296, 306, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 347,
348, 357, 359, 360, 364, 365, 366, 367, 368, 375,
376, 389, 391, 392, 410

motores elétricos 45, 47, 50

motores industriais 41, 42, 48, 51

MPU6050 42, 48

MQTT 103, 104, 107, 112, 117, 121, 123, 124, 209, 210, 211, 213, 214, 215,
217, 223, 224, 228, 229, 231, 232, 233, 235, 257, 267,
392, 394, 400, 405, 406, 408, 411, 412, 422

N

NTU 26

O

oxigênio dissolvido 19, 36

P

painel solar 299, 336, 341

paradas não programadas 42

parâmetros críticos 45

peixes ornamentais 36

perda de pacotes 94

pH 19, 36

pinout 24

piscicultura 18, 19, 20, 31, 36

placa de circuito 214, 218, 231, 293, 297, 330

placa de desenvolvimento 164

planilha 27, 33, 321

potenciômetro 32

pré-processamento 42, 45, 48, 64, 71, 80, 170

protoboard 144, 200, 217, 218, 370, 374, 379, 381, 389

prototipagem 18, 217, 299, 342

protótipo 20, 23, 36, 121, 133, 135, 144, 148, 156, 162, 164, 171, 172,
173, 175, 177, 184, 200, 203, 214, 217, 220, 221, 241,
243, 244, 245, 246, 247, 251, 255, 256, 282, 285,
289, 291, 300, 305, 306, 308, 309, 310, 313, 319,
335, 342, 374, 381, 382

Q

qualidade ambiental 18

qualidade da água 18, 19, 36, 37, 40

R

reajustes 18, 20

Real Time Clock 21, 199, 326

redes 5G 42, 45

rede sem fio 137, 138, 261

SUMÁRIO

SUMÁRIO

redes neurais convolucionais	45, 79, 106, 272, 276, 288, 394, 397
regulador de tensão	25, 30, 217, 234
resistor pull-up	33
roteador	30, 200, 335
S	
segurança da informação	210, 211
sensores analógicos	35
sensores de temperatura	20, 23, 25, 35, 36, 42, 47
sensores inteligentes	45, 261, 264
sensores MEMS	45
sensoriamento	47, 133, 135, 142, 194, 195, 204, 222, 223, 313, 376
Serial Peripheral Interface	27
séries temporais	45
SHAP	46, 55
silicone acético	31
sistema embarcado	209, 213, 214, 230, 231, 232, 235, 238, 364
sistema fotovoltaico off-grid	18, 319, 321, 334, 335
sobrecarga	49, 50, 51, 295
solda	330, 335, 337, 340
soldagem	300
solução tecnológica	104
SPI	27, 323
sustentabilidade	39, 51, 104, 109, 124, 131, 159, 262, 264, 276, 277, 365
T	
taxa de transmissão	51, 94
teia potamográfica	19
telemetria	21
temperatura	18, 19, 20, 23, 25, 27, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 42, 45, 47, 48, 49, 51, 105, 133, 135, 137, 139, 140, 145, 146, 147, 151, 152, 155, 156, 263, 264, 267, 268, 269, 270, 283, 285, 294, 295, 296, 297, 298, 302, 308, 309, 310, 317, 321, 337, 367
tempo real	40, 42, 44, 47, 48, 49, 57, 60, 63, 64, 70, 73, 74, 80, 86, 104, 105, 107, 108, 109, 114, 117, 123, 124, 133, 134, 135, 141, 147, 163, 165, 166, 167, 195, 196, 199, 204, 210, 211, 212, 214, 225, 241, 242, 244, 245, 246, 247, 248, 251, 252, 254, 256, 263, 264, 273, 275, 276, 277, 285, 286, 287, 288, 289, 291, 294, 295, 297, 298, 306, 308, 312, 313, 317, 349, 352, 357, 359, 364, 365, 368, 369, 375, 383, 389, 393, 396, 400, 401, 409, 410
tensão de saída	324, 335
testes de campo	172
testes-pilotos	42
TimescaleDB	45
tomada de decisão automatizada	211
transmissão de dados	27, 133, 135, 137, 146, 156, 165, 170, 263, 274
turbidez	18, 19, 20, 23, 25, 26, 31, 32, 34, 36
U	
Unidade Nefelométrica de Turbidez	26
V	
variáveis ambientais	133, 135, 146, 147, 298, 309
variáveis processuais	44
viabilidade técnica	136, 256, 292, 312
vibração	42, 45, 47, 48, 49, 50, 263, 294
visualização de dados	308, 357, 364
viveiros	19, 31
W	
Wi-Fi	20, 30, 42, 47, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 107, 138, 144, 147, 197, 204, 209, 213, 215, 216, 217, 223, 224, 226, 229, 230, 231, 232, 244, 267, 289, 290, 293, 295, 296, 297, 298, 307, 309, 312, 314, 370, 373, 377

www.PIMENTACULTURAL.com

INTERNET DAS COISAS

soluções tecnológicas



INSTITUTO FEDERAL
Amazonas



ARANOUÁ



pimenta
cultural