



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

PROPOSTA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARQUE DA QUIÇAMA POR MEIO DE UMA REDE DE SENsoRES SEM FIO

**TRABALHO DE FIM DE CURSO DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES**

AUTOR: GIRILDO KOLBE KIPONDE CATANHA

LUANDA, 2024-2025



UNIVERSIDADE
DE LUANDA
Instituto de Tecnologias de
Informação e Comunicação

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

PROPOSTA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARQUE DA QUIÇAMA POR MEIO DE UMA REDE DE SENsoRES SEM FIO

**TRABALHO DE FIM DE CURSO DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES**

AUTOR: GIRILDO KOLBE KIPONDE CATANHA

ORIENTADOR: MATEUS AFONSO BENGUI TAUANA, MSC.

LUANDA, 2024-2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso de forma especial, para os meus pais, Marcial Catanha e Ana Cristina Kiponde, que desde tenra idade, apostaram e muito me incentivaram a trilhar o caminho da educação, da integridade, com persistência e dedicação. De forma geral a todos os familiares, amigos e professores que têm constituído para mim, fonte de inspiração, um exemplo de vida a seguir, para o meu percurso acadêmico.

AGRADECIMENTO

Gostaria de prestar o meu agradecimento a todos que de forma directa ou indirecta, contribuíram para a realização deste trabalho de licenciatura.

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pelo dom da vida que me concedeu e pela saúde que me permitiu realizar este trabalho.

Em seguida agradecer aos meus familiares pelo apoio moral, emocional e financeiro prestado durante a minha formação acadêmica que me possibilitou caminhar até aqui, por me ajudarem nos desafios desta jornada.

Agradecer à minha linda esposa que sempre esteve ao meu lado, com muito apoio, durante este período de muita luta.

Agradecer aos meus professores e orientadores pela paciência, orientação durante todo o processo de pesquisa e por todo sacrifício, conhecimento compartilhado ao longo da minha graduação, que constituíram um elemento crucial na elaboração deste trabalho.

Por fim, agradecer aos meus colegas do curso de Engenharia de Telecomunicações, companheiros de batalha, por todo companheirismo durante esses anos todos, por todos os desafios que juntos ultrapassamos.

Os meus mais sinceros agradecimentos a todos, espero que este trabalho possa trazer algum resultado positivo e contribuir para a sociedade e para a comunidade científica.

EPÍGRAFE

“Dê-me 6 horas para derrubar uma árvore e passarei as primeiras 4 afiando o machado”

Abraham Lincoln

RESUMO

O Parque da Quiçama, uma das maiores áreas de conservação ambiental de Angola, enfrenta desafios crescentes relacionados à degradação ambiental e à ocorrência de incêndios florestais, especialmente na região da Muxima. A ausência de um sistema contínuo de monitoramento limita a capacidade de resposta rápida a eventos críticos. Diante disso, este trabalho tem como objectivo monitorar variáveis ambientais por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), visando aprimorar a gestão, a preservação do ecossistema local e a prevenção de incêndios, utilizando tecnologias de sensoriamento remoto para colectar dados em tempo real sobre temperatura, humidade do ar e concentração de fumaça. A metodologia envolve a análise das necessidades ambientais da região, a selecção de sensores adequados, a projecção dos nós da rede e o desenvolvimento de uma arquitectura eficiente para transmissão de dados. Para a comunicação entre os nós, foi empregada a tecnologia LoRa (Long Range), avaliada em diferentes cenários a fim de equilibrar consumo energético e alcance, factores cruciais em áreas remotas. A instalação estratégica dos nós permitirá ampla cobertura e monitoramento contínuo. Espera-se que a arquitectura proposta proporcione dados precisos e acessíveis, viabilizando decisões informadas para a conservação ambiental. Os resultados reforçam a viabilidade do uso de RSSFs como ferramenta eficaz no monitoramento ambiental e destacam a importância da inovação tecnológica na gestão de áreas protegidas.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental, Rede de sensores sem fio, Nós Sensor, Gateway, LoRa, Dispositivos finais.

ABSTRACT

Quiçama Park, one of the largest environmental conservation areas in Angola, is facing increasing challenges related to environmental degradation and the frequent occurrence of wildfires, particularly in the Muxima region. The absence of a continuous monitoring system significantly limits the ability to respond promptly to critical events. In this context, the present study aims to monitor environmental variables through the deployment of a Wireless Sensor Network (WSN), with the objective of enhancing ecosystem management, supporting conservation efforts, and preventing wildfires. This is achieved by employing remote sensing technologies to collect real-time data on temperature, air humidity, and smoke concentration. The methodology encompasses an assessment of the region's environmental requirements, the selection of appropriate sensors, the design of sensor nodes, and the development of an efficient network architecture for data transmission. LoRa (Long Range) communication technology was employed for inter-node communication and evaluated under multiple deployment scenarios to optimize the trade-off between energy consumption and communication range—critical factors in remote environments. The strategic placement of sensor nodes ensures extensive coverage and continuous monitoring capabilities. The proposed architecture is expected to deliver accurate and accessible environmental data, thereby enabling informed decision-making processes for environmental conservation. The findings underscore the feasibility of utilizing WSNs as an effective tool for environmental monitoring and highlight the pivotal role of technological innovation in the sustainable management of protected areas.

Keywords: Environmental monitoring, Wireless Sensor Network, Sensor Node, Gateway, LoRa, End Devices.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTO	IV
EPÍGRAFE	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GERAL	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABELAS	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XV
INTRODUÇÃO	1
Situação Problemática	2
Problema de Investigação	2
Objecto de estudo	2
Campo de acção	2
Objectivo Geral	3
Objectivos específicos	3
Tarefas de Investigação	3
RESUMO DOS CAPÍTULOS	4
CAPÍTULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
1.1 Monitoramento Ambiental	5
1.1.1 Tipos de monitoramento ambiental	6
1.1.2 Benefícios do monitoramento ambiental	6
1.2 Rede de Sensores Sem Fio – RSSF	7

1.2.1 Histórico das Redes de Sensores Sem Fio	8
1.2.2 Características das Redes de Sensores Sem Fio	10
1.2.3 Restrições de Rede de Sensores Sem Fio	12
1.2.4 Aplicações de Rede de Sensores Sem Fio	13
1.3 Arquitetura de Rede de Sensores Sem Fio.....	14
1.3.1 Componentes de uma RSSF	14
1.4 Unidade Principal do Nô Sensor.....	18
1.4.1 Sensores	18
1.4.2 Microcontrolador.....	19
1.4.3 Dispositivos de comunicação	20
1.4.4 Fonte de Alimentação.....	20
1.5 Tecnologias de Comunicação em RSSF.....	21
1.5.1 Bluetooth	23
1.5.2 ZigBee	24
1.5.3 LoRaWAN	26
1.5.4 Hyper Text Transfer Protocol	27
1.5.6 Message Queuing Telemetry Transport.....	28
1.6 Segurança em RSSF	29
1.6.1 Atributos Básicos.....	30
1.6.2 Ataques comuns em RSSF	30
1.6.3 Mecanismos de Defesa.....	31
1.7 Estado da arte	31
1.7.1 Soluções Internacionais	32
1.7.1 Soluções Nacionais.....	34

1.8 Metodologia de investigação	35
1.9 Ferramentas de apoio para a solução	36
1.9.1 Wokwi.....	36
1.9.2 Node-Red.....	37
1.9.2 CupCarbon.....	38
CAPÍTULO II: EXPLICAÇÃO DO TEMA	39
2.1 Características do Parque da Quiçama	39
2.2 Arquitetura Proposta	41
2.2.1 Visão geral	41
2.3 Nó Sensor.....	42
2.4 Nó Gateway	43
2.5 Central de Dados	44
2.6 Componentes dos Nós da Rede.....	45
2.6.1 Sensor de umidade e temperatura – DHT22.....	45
2.6.2 Sensor de gases e fumaça – MQ-135.....	46
2.6.3 Módulo Transceptor Lora RFM95W	48
2.6.4 Microcontrolador – ESP32-C3-DevKitM-1	49
2.6.5 Conversor MT3608.....	51
2.6.6 Bateria 18650 Li-ion	53
2.6.7 Mini Painel Solar	54
2.6.8 Controlador de carga TP4056	55
CAPÍTULO III: DISCUSSÃO DO TEMA	57
3.1 Apresentação da Arquitectura proposta	57
3.2 Diagrama em Bloco	57

3.2.2 Bloco de Comunicação	58
3.2.2 Bloco de Alimentação.....	58
3.2.1 Bloco de Sensoriamento	58
3.2.2 Bloco de Agregação	58
3.2.2 Bloco Central de Dados	58
3.4 Esquema Eléctrico	59
3.5 Princípio de funcionamento da rede	60
3.6 Modelagem, Simulação e Avaliação da Rede Proposta	61
3.6.1 Modelagem e Simulação da rede.....	61
3.6.2 Métricas de desempenho da rede.....	63
3.6.2.1 Cobertura da área	63
3.6.1.2 Vida útil da rede	64
3.7 Plataforma de Visualização dos dados	69
3.8 Custos e benefícios do projecto.....	71
3.8.1 Custo do projecto	71
3.8.2 Benefícios do projecto.....	71
CONCLUSÃO.....	73
RECOMENDAÇÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	77
Anexo A: Trecho do Código do Nό Sensor	77
Anexo B: Protótipo de Nό Sensor	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Monitoramento Ambiental	5
Figura 1.2 - Componetes do Projecto DNS-DARPA.....	9
Figura 1.3 - Componentes da RSSF	15
Figura 1.4 - Protocolo Multicamada para RSSF	16
Figura 1.5 - Módulos sensores	18
Figura 1.6 - Microcontroladores Arduino	19
Figura 1.7 - Dispositivo de comunicação por RF	20
Figura 1.8 - Bateria de Lítio Figura	21
Figura 1.9 - Tecnologias de Comunicação Sem Fio	23
Figura 1.10 – Bluetooth	23
Figura 1.11 - Arquitetura Bluetooth.....	24
Figura 1.12 - ZigBee.....	24
Figura 1.13 - Topologias ZigBee.....	25
Figura 1.14 - Arquitetura LoRaWAN	26
Figura 1.15 - Conexão HTTP	28
Figura 1.16 - Conexão MQTT.....	29
Figura 1.17 - (a) TIP50CM (b) MICA2 (c) TUTWSN	34
Figura 1.18 - Simulador Wokwi	36
Figura 1.19 - Node-Red.....	37
Figura 1.20 – CupCarbon	38
Figura 2.1 - Mapa do Parque da Quiçama	39
Figura 2.2 - Fauna e Flora do Parque	40
Figura 2.3 - Arquitetura Proposta	42

Figura 2.4 - Arquitetura do Nó Sensor.....	43
Figura 2.5 - Arquitetura do Nó Gateway	43
Figura 2.6 – Central de dados.....	44
Figura 2.7 - Pinagem DHT22.....	45
Figura 2.8 - - Sensor MQ-135.....	47
Figura 2.9 - Módulo RFM95W + Antena	48
Figura 2.10 - Pinagem ESP32-C3-DevKitM-1	50
Figura 2.11 - Diagrama de componentes	50
Figura 2.12 - Conversor MT3608	52
Figura 2.13 - Bateria 18650 Li-ion	53
Figura 2.14 - Mini Painel Solar	54
Figura 2.15 - Controlador de carga TP4056	55
Figura 3.1 - Diagrama em bloco	57
Figura 3.2 - Esquema Eléctrico – Gateway	59
Figura 3.3 - Esquema Eléctrico – Nó Sensor	59
Figura 3.4 - Diagrama de sequências	60
Figura 3.5 - Rede Simulada no CupCarbon	62
Figura 3.6 - Ambiente de desenvolvimento Node-Red	69
Figura 3.7 - Exemplo de visualização dos dados	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Evolução histórica das RSSF	10
Tabela 1.2 - Características das RSSF	11
Tabela 2.1 - Especificações do sensor DHT22.....	46
Tabela 2.2 - Especificações do Sensor MQ-135.....	47
Tabela 1.3 - Especificações do RFM95W.....	49
Tabela 2.4 - Especificações do ESP32-C3-DevKitM-1	51
Tabela 2.5 - Especificações do MT36650.....	52
Tabela 2.6 - Especificações da Bateria 18650 Li-ion.....	53
Tabela 2.7 - Especificações do Painel Solar.....	55
Tabela 2.8 - Especificações do TP4056	56
Tabela 3.1 - Parâmetros de Simulação	61
Tabela 3.2 - Cobertura da área.....	63
Tabela 3.3 - Estimativa de custos com materiais.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ADR Adaptive Data Rate (Taxa de Dados Adaptativa, no LoRaWAN)

AES Advanced Encryption Standard (Padrão Avançado de Criptografia)

AP Access Point (Ponto de Acesso)

BLE Bluetooth Low Energy

DARPA Defense Advanced Research Projects Agency

DSN Distributed Sensor Networks (Redes de Sensores Distribuídos)

DOS Denial of Service (Negação de Serviço)

FDS Fixed Distributed System (Sistema Distribuído Fixo)

FFSS Forest-Fire Surveillance System (Sistema de Vigilância de Incêndios Florestais)

GIS Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)

GPRS General Packet Radio Service (Serviço Geral de Rádio por Pacote)

HTTP Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferência de Hipertexto)

I2C Inter-Integrated Circuit (Barramento de Comunicação Serial)

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

IoT Internet of Things (Internet das Coisas)

ISM Industrial, Scientific, and Medical (Faixa de Rádio Industrial, Científica e Médica)

LEACH Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LoRa Long Range

LoRaWAN Long Range Wide Area Network

LQI Link Quality Indication

MEMS Micro-Electro-Mechanical Systems (Sistemas Microeletromecânicos)

MQTT Message Queuing Telemetry Transport (Transporte de Telemetria via Fila de Mensagens)

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica, EUA)

PNQ Parque Nacional da Quiçama

RF Radio Frequency (Frequência de Rádio)

RSSI Received Signal Strength Indicator (Indicador de Intensidade do Sinal Recebido)

RSSF Rede de Sensores Sem Fio

SiP System in Package (Sistema em Pacote)

SMP Sensor Management Protocol (Protocolo de Gerenciamento de Sensores)

SOSUS Sound Surveillance System (Sistema de Vigilância Sonora Submarina)

SoC System on Chip (Sistema em um Chip)

TCP Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão)

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

Wi-Fi Wireless Fidelity

WSN Wireless Sensor Network

WLAN Wireless Local Area Network (Rede Local Sem Fio)

WMAN Wireless Metropolitan Area Network (Rede Metropolitana Sem Fio)

WPAN Wireless Personal Area Network (Rede Pessoal Sem Fio)

WRAN Wireless Regional Area Network (Rede Regional Sem Fio)

WWAN Wireless Wide Area Network (Rede de ÁREA Amplia Sem Fio)

INTRODUÇÃO

A preservação ambiental é um elemento crucial para proteger a biodiversidade, manter ecossistemas para a vida do planeta e garantir recursos naturais para as futuras gerações, a degradação ambiental e as mudanças climáticas têm impactado significativamente os ecossistemas naturais, tornando essencial a adoção de soluções tecnológicas inovadoras para monitorar e analisar as condições do ecossistema. O Parque Nacional da Quiçama, uma das maiores reservas naturais de Angola, abriga uma biodiversidade rica, mas enfrenta desafios relacionados à gestão ambiental e conservação da fauna e flora. Neste contexto, as Redes de Sensores Sem Fio surgem como uma solução eficiente para a colecta e análise de dados ambientais em tempo real.

Este projecto propõe o monitoramento ambiental na região da Muxima no Parque da Quiçama por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio, com o objectivo de colectar, registrar e analisar variáveis ambientais como temperatura, humidade e concentração de fumaça para conservação da biodiversidade e prevenção de incêndios florestais. O sistema permitirá um monitoramento contínuo e eficiente das condições ambientais, auxiliando na tomada de decisões para conservação da biodiversidade. Além disso, reduzirá a necessidade de intervenção humana no campo, optimizando recursos e garantindo maior precisão na colecta de dados e contribuirá para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento ambiental.

Por meio desta proposta, busca-se demonstrar a viabilidade da Rede de Sensores Sem Fios como uma solução sustentável e escalável para a conservação ambiental, promovendo um monitoramento automatizado e acessível para gestores do parque e pesquisadores da área.

Situação Problemática

Desde o princípio dos tempos o género humano tem aproveitando-se dos recursos que a Natureza oferece para a sua sobrevivência, usando cavernas para se proteger do frio, da chuva e de animais ferozes, desenvolveu instrumentos de trabalho, praticou a caça, a pesca e a agricultura. Mais tarde com o aprimoramento da sua inteligência, aperfeiçoou ferramentas e técnicas, passou a construir habitações, estradas, caminhos-de-ferro, pontes e desenvolveu a indústria, usando como fonte de matéria prima os recursos naturais.

A preservação e o aproveitamento racional destes recursos são fundamentais para o bem-estar da população de qualquer país, pois deles dependem o seu desenvolvimento. No âmbito da preservação destes recursos, foram criadas reservas naturais com o objectivo de proteger espécies de fauna e flora existentes, especialmente em risco de extinção, promover o uso sustentável dos recursos naturais e valorizar a biodiversidade cultural destas áreas.

Em Angola, num estudo feito pela Global Forest Watch em 2022, foram registradas uma perda florestal de 52% no Parque da Quiçama, o que corresponde a 169 mil hectares de florestas primárias, fruto de incêndios florestais, queimadas e desmatamento ilegal, isso sem mencionar a caça furtiva que tem sido recorrente em território nacional, no intuito de comercializar no mercado negro, os animais mais caçados e procurados pelos traficantes são os elefantes, devido ao marfim, girafas, hipopótamos, tartarugas marinhas, alpes e entre outros.

Problema de Investigação

Como prevenir incêndios florestais no Parque da Quiçama utilizando Monitoramento Ambiental por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio?

Objecto de estudo

Redes de Sensores Sem Fio

Campo de acção

Infraestrutura de Rede de Sensores Sem Fio

Objectivo Geral

Propor monitoramento de variáveis ambientais na região em estudo por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio para prevenção de incêndios florestais.

Objectivos específicos

- ✓ Analisar os conceitos e tecnologias sobre Rede de Sensores Sem Fio aplicadas em Monitoramento Ambiental para prevenção de incêndios florestais;
- ✓ Identificar as características ambientais do parque e as principais variáveis aplicadas ao monitoramento ambiental relevantes para a prevenção de incêndios florestais;
- ✓ Projectar uma arquitectura de Rede de Sensores Sem Fio adaptada à realidade da região, considerando factores como cobertura, consumo energético e custo;
- ✓ Integrar os dados colectados pela rede com uma plataforma de visualização em tempo real para apoiar acções preventivas e de resposta a incêndios florestais.
- ✓ Avaliar a viabilidade e o desempenho da arquitetura proposta com base nos resultados obtidos.

Tarefas de Investigação

- ✓ Pesquisa bibliográfica sobre conceitos relacionados a monitoramento ambiental;
- ✓ Caracterização da Rede de Sensores Sem Fio aplicada ao monitoramento ambiental;
- ✓ Seleccão das metodologias e caracterização das ferramentas e tecnologias para a projeção da arquitectura da rede;
- ✓ Projecção da Redes Sensores Sem Fio com as tecnologias seleccionadas.
- ✓ Integração com uma plataforma de visualização em tempo real e avaliação da solução proposta;
- ✓ Realizar testes simulados e práticos do protótipo da Rede de Sensores Sem Fio para avaliar a sua viabilidade e desempenho.

RESUMO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho está composto por três capítulos principais, onde cada, apresenta uma descrição específica e fundamental para a elaboração deste trabalho. Os principais aspectos abordados em cada um dos capítulos são apresentados a seguir:

Capítulo I: Fundamentação teórica – Neste capítulo foi abordado os principais conceitos relacionados a monitoramento ambiental, destacando a sua importância na preservação ecológica. Foi apresentado um histórico das RSSF, principais características e aplicações, componentes de uma RSSF, com uma ênfase na unidade principal, o nó sensor. Foram abordadas as principais tecnologias de comunicação utilizadas em RSSF, destacando suas funcionalidades. Inclui abordagens relacionadas segurança em RSSF. Finaliza com uma descrição da metodologia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento do projecto.

Capítulo II: Explicação do tema – Neste capítulo fez-se uma abordagem sobre o perfil do Parque da Quiçama, em especial a região da Muxima com foco nas necessidades ambientais do parque. Foi feita uma apresentação detalhada da proposta de solução de uma Rede de Sensores Sem Fio na região da Muxima no Parque da Quiçama utilizando a tecnologia LoRa, descrição dos elementos da rede e selecção dos componentes dos nós da rede, desde os sensores até aos módulos de comunicação LoRa, com vista o princípio básico de funcionamento de cada componente.

Capítulo III: Discussão do tema – Neste capítulo, dá-se o casamento entre a teoria e a prática de modo a gerar discussões, interpretações e análises dos resultados com a finalidade de comprovar a teoria baseada em aplicações práticas dos conceitos apresentados no decorrer do trabalho. Este capítulo enfatiza a contribuição da tecnologia LoRa para práticas de Monitoramento Ambiental eficientes e sugere direcções para futuras pesquisas, incluindo a integração com uma plataforma de computação em nuvem.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Monitoramento Ambiental

Monitoramento ambiental é um processo de colecta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, como qualidade do ar e da água, condições do solo, biodiversidade, com o objectivo de identificar e avaliar as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo (Ramos, Júnior 2022).

Esta prática envolve uma série de técnicas e métodos, desde observações directas e colecta de amostras até o uso de tecnologias avançadas, como sensores remotos e modelos computacionais. Com base nesses levantamentos, o monitoramento ambiental fornece informações sobre os factores que influenciam o estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental da região estudada. (Guedes 2022)



Figura 1.1 - Monitoramento Ambiental
Fonte: (<https://br.freepick.com.br>)

Normalmente, o Monitoramento Ambiental é feito em escalas, podendo ser resumidos e divididos em **micro escala**, quando o escopo é mais específico por exemplo, uma fábrica que emite gases cujo impacto precisa ser estudado e **macro escala** quando o escopo com maior abrangência, analisando áreas geográficas mais extensas, como o monitoramento da qualidade da água do rio Kwanza. (Guedes 2022)

1.1.1 Tipos de monitoramento ambiental

Existe uma grande variedade de monitoramento ambiental, dentre os quais gostaríamos de destacar os seguintes:

Monitoramento meteorológico - O monitoramento de eventos climáticos e meteorológicos permite uma melhor preparação e resposta a eventos extremos, como furacões, inundações e incêndios florestais. Segundo o Global Climate Risk Index (2021), mais de 475.000 mortes foram causadas directamente por mais de 11.000 eventos climáticos extremos entre 2000 e 2019 (Eckstein, Künzel, Schäfer 2021).

Monitoramento de ativos em infraestrutura - Permite assegurar a integridade de estruturas como barragens, pontes, estradas e instalações industriais. Este tipo de monitoramento usa tecnologias como sensores e sistemas de informação geográfica (GIS) para acompanhar as condições dos ativos e prever possíveis falhas, para garantir a segurança humana e minimizar o impacto ambiental de uma falha.(Souza 2022)

Monitoramento da qualidade do ar, água e solo - Permite a detecção de poluentes, identificar contaminações, como a presença de metais pesados, produtos químicos industriais ou patógenos na água e envolve a análise de elementos como pH, nutrientes, e presença de substâncias tóxicas do solo.Para (Souza 2022), este monitoramento é essencial para a gestão sustentável da terra e para a mitigação dos impactos de práticas como mineração e agricultura intensiva.

Monitoramento de ruído ambiental - A exposição a altos níveis de ruído pode ter efeitos negativos na saúde humana, incluindo estresse e doenças cardiovasculares. O monitoramento de ruído possibilita avaliar os níveis sonoros em áreas específicas, levando a medidas de mitigação como barreiras de som ou restrições de horário para actividades ruidosas.

1.1.2 Benefícios do monitoramento ambiental

Detecção de poluentes e substâncias tóxicas – Identificar a presença de substâncias nocivas que possam estar afectando o ambiente, principalmente em projectos de

construção de rodovias, onde o escoamento inadequado de produtos químicos ou resíduos de construção podem contaminar o ambiente circundante. (Souza 2022).

Protecção da saúde pública - O monitoramento ambiental não é apenas sobre proteger os ecossistemas; ele também tem implicações directas para a saúde pública. As empresas de infraestrutura são frequentemente responsáveis por grandes projectos que têm potencial para afectar a qualidade do ar e da água em áreas habitadas (Souza 2022)

Conservação da biodiversidade - A biodiversidade é um indicador da saúde ambiental, e sua preservação é de interesse para todos. O monitoramento ambiental ajuda na identificação de qualquer alteração na fauna e flora local.

Prevenção de desastres naturais - O monitoramento contínuo de condições climáticas, qualidade do solo e movimento da água, é possível identificar riscos como erosão, deslizamentos de terra e inundações.(Souza 2022)

Avaliação do impacto das actividades humanas – Monitorar os efeitos da construção de infraestruturas em ecossistemas fornece dados do impacto sobre a fauna e flora, emissões de poluentes e a qualidade da água e do ar, ajudando assim, a minimizar impactos negativos, tornando o desenvolvimento mais sustentável no longo prazo. (Souza 2022)

1.2 Rede de Sensores Sem Fio – RSSF

Redes de sensores sem fio consistem em estruturas formadas por vários nós sensores que se comunicam através de protocolos de comunicação no meio sem fio. Os componentes presentes nesse tipo de rede, são capazes de colectar dados de grandezas do meio físico, tais como: temperatura, humidade, luminosidade, vibração, corrosão, pressão, aceleração, vento, campos magnéticos, radiação, composição química, stress mecânico, entre outros. A partir destes dados é possível monitorar ambientes e fornecer métricas para tomada de decisões.(Costa 2022)

Os nós constituintes das redes incorporam módulos de detecção, um módulo de processamento, um módulo de comunicação e uma fonte de alimentação, que é geralmente uma bateria de baixo custo e dimensão reduzida. Os nós da rede cooperam entre si, de modo

a que os dados recolhidos alcancem o nó com funções de coordenação e que esteja ligado a um computador, que processa a informação através de uma aplicação. O posicionamento dos nós sensores no meio ambiente poderá ser feito de forma aleatória, para zonas de difícil acesso pode ser necessário recorrer a meios aéreos para lançar os nós na região para ser monitorizada. Na maior parte das aplicações práticas estes são colocados manualmente na zona a monitorar, é necessário garantir o funcionamento do nó por longos períodos.

O consumo de energia deve ser o mais optimizado possível para uma maior durabilidade dos nós sensores na rede. O processo de transmissão dos dados é identificado como a actividade que consome mais energia, sendo por isso crucial, optimizar o encaminhamento dos mesmos, minimizando, o consumo das baterias. (Braga 2010)

1.2.1 Histórico das Redes de Sensores Sem Fio

O desenvolvimento das redes de sensores envolve tecnologias de três áreas de pesquisas nomeadamente, sensoriamento, comunicação e computação. Portanto, os avanços combinados ou separados destas áreas influenciaram diretamente nas pesquisas em RSSF (Redes de Sensores sem Fio). Desta forma podemos dividir a história das pesquisas em quatro fases distintas:

1^a Fase: Durante a Guerra Fria (década de 50) - A maioria das tecnologias, associadas à monitoramento remoto, iniciaram-se com aplicações em defesa militar. Durante a Guerra Fria eram usados sistemas de detecção de sons (SOSUS- Sound Surveillance System) que já utilizavam os conceitos presentes, nos nossos dias, nas RSSF, este sistema consistia em colocar no fundo do oceano uma vasta quantidade de sensores acústicos dispersados estrategicamente de modo a serem detectados submarinos soviéticos. Actualmente, o SOSUS é utilizado pela NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), desde 1994 na monitorização de eventos no oceano, tais como actividade sísmica e animal. (Braga 2010)

2^a Fase: Início dos Projectos Avançados de Defesa - Por volta de 1980 iniciaram-se as primeiras pesquisas modernas sobre RSSF, quando a DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) iniciou com o projecto DSN (Distributed Sensor Networks), projecto concebido para que os nós sensores fossem colocados numa arquitectura

distribuída, cooperativa, autónoma e com um baixo custo, tendo como objectivo encaminhar informação entre os diversos nós da melhor forma possível.



Figura 1.2 - Componetes do Projecto DNS-DARPA
Fonte: (Braga 2010)

A rede era formada por sensores acústicos, protocolos de alto nível, técnicas de processamento, algoritmos e por softwares distribuídos. Nessa altura ainda não existiam computadores pessoais, nem estações de trabalho, pelo que todo o processamento era feito em minicomputadores como o PDP-11 e em máquinas VAX onde eram usados sistemas operativos como o Unix e o OpenVMS (Open Virtual Memory System). Os modems atingiam taxas de operação que variavam entre 300 e 9600 bps.(Braga 2010)

3^a Fase: Aplicações Militares Desenvolvidas entre 1980s e 1990s - Os investigadores em rede de sensores tinham como objectivo criar uma rede com imensos pequenos sensores, mas a tecnologia não o permitia. Em simultâneo, o pessoal envolvido em sistemas militares reconheceu o benefício deste tipo de rede, para aplicação militar num ambiente de guerra, onde os sensores poderiam informar com uma resposta bastante rápida, a posição das tropas inimigas. Um exemplo deste tipo de rede desenvolvida pelo sistema de defesa americano é a CEC (Cooperative Engagement Capability). Em 1999, o DARPA iniciou o projecto SensIT (Sensor Information Technology) com duas finalidades principais: desenvolver novas técnicas adequadas para redes Ad Hoc em ambientes dinâmicos e realizar processamento de informação na rede, extracção de informação dos sensores de forma optimizada e confiável. (Braga 2010)

4^a Fase: Actualmente - O avanço tecnológico na área de computação e de comunicação, tornou possível a ideia inicial, das redes de sensores sem fios. Estas redes constituídas por sensores ínfimos e baratos, processadores de baixa potência baseados em sistemas micro-eletro-mecânicos (MEMS), fazem com que aplicações baseadas nestes sensores se tornem mais precisas. É importante salientar que a tecnologia para projectar e construir RSSF está comercialmente disponível e tende a se tornar cada vez mais acessível com a produção em larga escala de diferentes tipos de micro-sensores (Motes, AMPS, Dust, Pico, WINS, FireFly, Z1 Mote, TinyNode584). (Braga 2010).

Tabela 1.1 - Evolução histórica das RSSF Fonte: (Braga 2010)

Nó sensor	I ^a Geração	II ^a Geração	III ^a Geração	IV ^a Geração
Peso (g)	500 – 1000	200 – 500	50-200	10-50
Arquitetura	Monolítica	Modular	Integrada	SoC, SiP
Protocolo	Proprietário	IEEE 802.15.4	ZigBee, Bluetooch	LoRaWAN 6LoWPAN
Fonte de Alimentação	Baterias não recarregáveis	Baterias Lítio	Baterias Recarregáveis	Energia solar
Durabilidade	Horas, Dias	Dias, Semanas	Semanas, Anos	5-10 anos

1.2.2 Características das Redes de Sensores Sem Fio

As RSSFs são consideradas uma subclasse das redes ad-hoc, redes caracterizadas pela descentralização do envio e recepção de dados entre os componentes na rede, pela ausência de um ponto de colecta que centraliza os dados. Nesse tipo de rede qualquer terminal pode realizar roteamento de dados, agindo de forma colaborativa com as solicitações de envio e recepção de terminais vizinhos.

As RSSFs podem ser caracterizados de diferentes maneiras, de acordo a capacidade dos nós sensores, composição, mobilidade, densidade, tamanho, distribuição, forma de comunicação. (Braga 2010)

Tabela 1.2 - Características das RSSF Fonte: (Braga 2010)

Classificação		Características
Capacidade	Plana	Quando possui nós com a mesma prioridade, tendo qualquer deles acesso ao AP.
	Hierárquica	Quando possui nós com diferentes prioridades, não sendo possível que qualquer nó envie dados ao AP
Composição	Homogênea	Quando possui nós com a mesma capacidade de hardware
	Heterogénea	Quando possui nós com diferentes capacidades de hardware
Mobilidade	Estacionária	Quando os nós permanecem no local onde foram depositados
	Móvel	Quando os nós podem ser deslocados do local onde foram depositados.
Densidade	Balanceado	Quando possui uma concentração de nós considerada ideal
	Densa	Quando possui alta concentração de nós por unidade de área
	Esparsa	Quando possui baixa concentração de nós por unidade de área.
Tamanho	Pequena	Quando composta de uma centena de nós
	Média	Quando composta de centenas a mil nós
Sensoriamento	Coleta Periódica	Quando os nós coletam dados em intervalos regulares de tempo
	Coleta Contínua	Quando os nós da rede coletam os dados continuamente
	Coleta Reativa	Quando os nós coletam dados somente quando ocorrem eventos

As Redes de sensores sem fio podem executar sua operação muito bem mesmo no ambiente remoto sem qualquer presença humana. Eles têm a capacidade de suportar condições ambientais adversas. As redes são projectadas de modo que possuam auto-organização e capacidades de "auto-cura" (Braga 2010).

Outra característica relacionada com a disseminação de dados em uma RSSF é a agregação, que possibilita que dados possam ser pré-processados e agregados a outros dados antes que sejam transmitidos, reduzindo a quantidade de elementos circulando pela rede. Nós adicionais podem ser inseridos em qualquer momento para substituir um nó com mau funcionamento devido a mudanças na tarefa a ser feita.

1.2.3 Restrições de Rede de Sensores Sem Fio

Redes de Sensores Sem Fio têm como objectivo colectar de dados físicos de ambiente, podem apresentar distintas organizações, topologias e tecnologias de acordo com a aplicação. A rede pode ser composta inteiramente de nós sensores, que podem exercer tanto o papel de envio de dados ou coletca de dados dependendo da organização da rede, podem conter Gateways, equipamentos exclusivos de transmissão de dados, gerenciando a comunicação entre os nós e um servidor (Yamashiro, Silva 2021)

Há certas limitações e preocupações no projecto da rede que caracterizam uma RSSF:

Consumo de Energia - A maior restrição das RSSF está associada a eficiência energética, pois os nós são alimentados por baterias, as quais devem ser trocadas ou recarregadas periodicamente. Durante a transmissão, ocorre um pico de consumo de energia, drenando mais corrente da bateria quando apenas o processador e o sensor estão ativos. Protocolos de roteamento que exijam muitas transmissões de mensagens de controle devem ser evitados. (Paim 2017).

Tolerância a Falhas - Os nós sensores podem falhar por falta de energia, danos físicos ou interferência do ambiente. Qualquer mal funcionamento de um nó não pode afetar o desempenho global de sua rede. A tolerância a falhas é a capacidade de sustentar as funcionalidades da rede sem qualquer interrupção devido a falhas do nó sensor. (Netto 2016)

Escalabilidade – A ordem de grandeza do número de nós de uma RSSF pode variar de centenas, milhares e em alguns casos milhões. A arquitetura de rede deve prever a

possibilidade de crescimento da rede, para comportar novos nós sensores, bem como, utilizá-los em todo o seu potencial.(Yamashiro, Silva 2021)

Custo de Produção - Tendo em vista que as aplicações podem requerer uma grande quantidade de nós sensores, é de extrema importância que o custo de cada nó seja o mais baixo possível, afim de minimizar o custo total da rede, pois caso o custo seja mais elevado do que a implantação de sensores tradicionais, a rede não encontrar a seu custo justificado.(Paim 2017)

Restrições de Hardware - Os nós das RSSF são constituídos geralmente de quatro componentes, uma unidade de sensoriamento, uma unidade de processamento, um transmissor/receptor e uma unidade de alimentação. Geralmente os controladores dos nós apresentam um poder computacional limitado, sendo capaz de limitar certas operações que um nó possa vir a querer realizar.(Braga 2010)

Segurança: O facto dos nós sensores utilizarem comunicação por radiofrequência compromete a sua segurança, tornado as RSSF mais vulneráveis a ataques do que as redes cabeadas.(Dargie, Poellabauer 2010)

1.2.4 Aplicações de Rede de Sensores Sem Fio

O conceito de Redes de Sensores Sem Fio abre caminhos para um mar de aplicações num conjunto amplo de novas áreas. Sensores podem ser usados para monitoramento contínuo e detecção de vários eventos, e controle de actuadores locais. Pode-se categorizar as aplicações em militares, ambientais, saúde, doméstica e industriais.

Militares – As RSSF podem ser uma parte integrante de comando militar, controle, comunicações, computação, inteligência, vigilância, reconhecimento e sistemas de mira. A rápida configuração, auto-organização e tolerância a falhas são características de redes de sensores que as tornam uma técnica de sensoriamento muito promissor para uso militar. Uma vez que as redes de sensores se baseiam na implantação de vários nós descartáveis e de baixo custo, as destruições de alguns por acções de forças hostis não afectam a operação militar. (Netto 2016)

Monitoramento Ambiental - Algumas aplicações ambientais das redes de sensores incluem acompanhar os movimentos de aves, pequenos animais e insetos, monitoramento das condições ambientais, irrigação, macro instrumentação, monitoramento e exploração planetária, detecção química/biológica, agricultura de precisão, detecção e prevenção de incêndios florestais, pesquisa meteorologia ou de geofísica, detecção de inundação, mapeamento bio-complexidade do meio Ambiente e estudo da poluição. (Netto 2016)

Saúde - Algumas das aplicações de saúde para redes de sensores estão fornecendo interfaces para os deficientes; monitoramento integrado de pacientes, diagnóstico, administração de medicamentos em hospitais, telemonitorização de dados fisiológicos; e acompanhamento e monitoramento de médicos e pacientes dentro de um hospital. (Netto 2016)

Domésticas - Enquanto a tecnologia avança, nós sensores inteligentes e actuadores podem ser embarcados em aparelhos, tais como aspiradores de pó, fornos de micro-ondas, geladeiras e aparelhos de vídeo. Estes nós sensores dentro dos dispositivos domésticos podem interagir com cada outro e com a rede externa através do Internet. Eles permitem que os usuários finais possam gerenciar dispositivos domésticos local e remotamente mais facilmente.(Netto 2016)

Ambiente inteligente: Um projecto de um ambiente inteligente aponta para duas vertentes, uma focada na tecnologia e outra nos seres humanos. Um sistema centrado nos seres humanos leva em consideração a interface, ou seja, entradas e saídas, já a focada na tecnologia concentra-se nos recursos de hardware disponíveis e os middlewares a serem desenvolvidos. De qualquer forma um ambiente inteligente prescreve a ideia de adaptação, sensibilidade ao contexto e situação. (Netto 2016)

1.3 Arquitectura de Rede de Sensores Sem Fio

1.3.1 Componentes de uma RSSF

As Redes de Sensores Sem Fio são caracterizadas pela utilização de inúmeros pequenos dispositivos implantados espacialmente distribuídos em vários ambientes para as mais diversas aplicações, é constituída essencialmente pelos seguintes componentes: Nó sensor, Nó concentrador e estação central.

Nó sensor: dispositivo responsável por realizar a aquisição de dados nas aplicações de monitoramento e transmitir a informação por meio de nós intermediários para que chegue ao concentrador, que é o nó de destino.(Medeiros 2021)

Nó concentrador (Sink): dispositivo possui como função receber os dados dos nós sensores da RSSF e direcioná-los para uma estação central, como, por exemplo, um servidor em nuvem computacional, para que o usuário final possa acessá-los.(Medeiros 2021)

Estação central: dispositivo responsável por centralizar todas as informações colectadas pelo nó concentrador, por meio dos nós sensores, para armazenamento e análise posterior das mesmas. A estação central pode ser um servidor, computador, ou até um microcontrolador

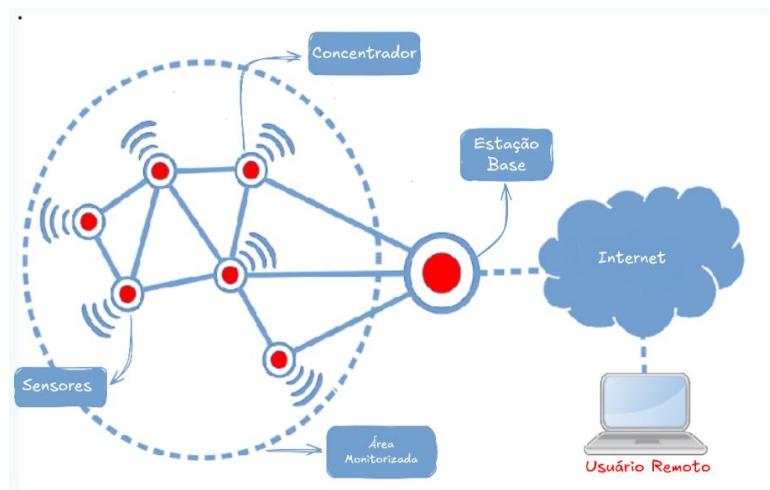


Figura 1.3 - Componentes da RSSF Fonte: <https://www.gta.ufrj.br>

1.3.2 Camada de Protocolos

Nas Redes de Sensores Sem Fios, os nós da rede, tanto os sensores quanto os concentradores (sink), utilizam uma série de protocolos, que podem ser descritos em camadas. As camadas de protocolos utilizadas, assemelham-se aos modelos de referência OSI e TCP/IP. Além das camadas, são definidos três planos de gerenciamento, nomeadamente, plano de gerenciamento de energia, de gerenciamento de mobilidade e de gerenciamento de tarefas, que são independentes.

Os planos de gerenciamento buscam ajudar a coordenação dos serviços dos nós e a diminuição do consumo de energia.(Paim 2017)

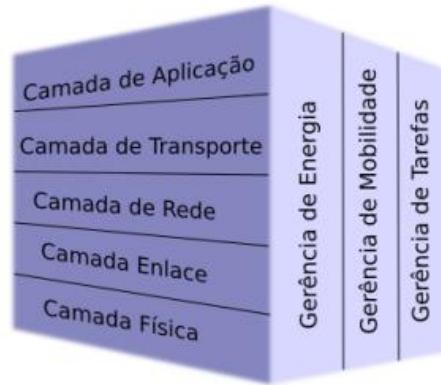


Figura 1.4 - Protocolo Multicamada para RSSF Fonte: (Netto 2016)

Plano de gerenciamento de energia – Responsável por promover uso o correto dos recursos da rede e como cada sensor irá dispor de energia. Este serviço pode providenciar o desligamento de um sensor se este não estiver em uso.

Plano de gerenciamento de mobilidade – Responsável por identificar e registrar o movimento dos nós sensores e mantém atualizada a topologia da rede, ou seja, quem são os vizinhos de cada sensor.

Plano de gerenciamento de tarefas - Responsável por escalar as tarefas de sensoriamento em regiões determinadas por parte dos nós. Em geral, os sensores que possuem mais energia são escolhidos para realizar estas tarefas mais vezes do que aqueles com nível de energia mais baixo.

Camada de Aplicação - Esta é a camada onde será definida a estrutura de comunicação entre os nós sensores e os "usuários" da aplicação. Neste trabalho serão abordadas três iniciativas para protocolos de camadas de aplicação, Protocolo de gerência de Sensores (Sensor management protocol - SMP), Protocolo de designação de tarefas e anúncio de dados (Task assignment and data advertisement protocol - TADAP) e protocolo de consulta de sensores e de disseminação de dados (sensor query and data dissemination protocol - SQDDP). Este é um assunto bastante extenso e pode abrir possibilidades de pesquisa em cada uma destas linhas.(Netto 2016)

Camada de Transporte - Esta camada é necessária especialmente quando o sistema é planejado para ser acessado pela Internet ou por outras redes externas. O TCP com seu

esquema de transmissão actual por janelas não é capaz de suportar as exigências extremas de uma rede de sensores. Neste tipo de abordagem as conexões TCP são terminadas no nó concentrador e um protocolo especial da camada de transporte pode então cuidar das comunicações entre o concentrador e os nós sensores. Como resultado a comunicação entre o usuário e o concentrador é feita por UDP ou TCP pela Internet.(Netto 2016)

Camada de Rede - Nas redes multi-salto a camada de rede é responsável pela localização das rotas entre o nó fonte e o destino. As rotas devem levar em consideração a potência disponível nos nós ou a energia necessária para transmissão nos enlaces ao longo da rota. Uma rota entre nó fonte e destino pode ser escolhida por diversas abordagens, por exemplo, máximo de potência disponível nos nós, menor energia de transmissão ou menor número de saltos. (Paim 2017)

Camada de Enlace - A camada de enlace é responsável pela multiplexação dos fluxos de dados, detecção dos quadros, acesso ao meio e controle de erro. Ela permite a realização de comunicações ponto-a-ponto e ponto-a-multipontos na rede de sensores. O controle de acesso ao meio (MAC) tem dois objetivos. O primeiro é a criação de uma infraestrutura de rede, ou seja, estabelecer links de comunicação para transferências de dados entre os nós e, o segundo, e a divisão dos recursos de forma justa e eficiente entre os nós. Os principais protocolos de controle de erro utilizados nas redes de sensores sem fio são o ARQ (*Automatic Repeat Request*) e o FEC (*Forward Error Correction*). No ARQ, o receptor envia mensagens de reconhecimento do tipo ACK quando recebe um pacote corretamente e NAK quando detecta a perda de um pacote (Paim 2017)

Camada Física - A camada física é responsável pela seleção de frequências, geração da frequência portadora, detecção, modulação e codificação do sinal. Para a frequência de transmissão, a faixa reservada para aplicações industriais, científicas e médicas (ISM - Industrial, Scientific and Medical) é composta por três faixas, 900 MHz, 2,4 GHz e 5,8 GHz. A faixa de 2,4 GHz é a mais utilizada, sendo compartilhada por diversa aplicações como WiFi, Bluetooth e ZigBee (IEEE 802.15.4) (Paim 2017).

1.4 Unidade Principal do Nô Sensor

Nós sensores são dispositivos autônomos com capacidades de sensoriamento, processamento e comunicação. Quando esses nós são dispostos em rede formam as redes de sensores. Os nós sensores coletam dados via sensores, processam localmente ou coordenadamente entre vizinhos e transmitem essa informação. Como visto, um nó na rede tem essencialmente tarefas diferentes: sensoriamento do ambiente, processamento da informação e tarefas associadas com o tráfego.

Os nós sensores são constituídos por um ou mais sensores, unidade de processamento com capacidade limitada, memória reduzida, geralmente um microcontrolador, um dispositivo de comunicação, transceptor de rádio e uma fonte de energia. Podem-se adicionar ainda outros componentes como por exemplo um dispositivo que permita mobilidade ou um sistema de localização.

1.4.1 Sensores

Um sensor é um componente capaz de detectar uma grandeza do mundo físico (temperatura, humidade, pressão, aceleração, luminosidade, etc.) e transformá-la num sinal eléctrico variável (analógico) que representa a amplitude desta grandeza.(Braga 2010)



Figura 1.5 - Módulos sensores
Fonte: <http://www.hackatronic.com>

Existem seis domínios de sinais (térmico, mecânico, magnético, radiante, químico e elétrico) com seus principais parâmetros físicos. Os sensores podem ser classificados como passivos ou ativos. Os sensores passivos têm, por definição, a propriedade de serem auto-suficientes, isto é, são capazes de por si mesmos gerarem um sinal elétrico equivalente à

perturbação de entrada a que estão submetidos, sem necessidade de polarização. Já os sensores ativos (modulantes) necessitam de polarização para poderem realizar a conversão da energia do domínio de interesse em um sinal elétrico.(Da Silva 2013)

1.4.2 Microcontrolador

Microcontroladores são sistemas digitais integrados capazes de receber dados, interpretá-los e enviar os resultados a saídas pré-definidas (Da Silva 2013). De modo geral, são pequenos computadores que possuem um único circuito integrado que reúne um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e diversos periféricos de entrada e de saída de dado, conversores analógico-digitais e portas de comunicação, tudo num único chip com um baixo consumo de potência e relativamente barato. (Costa 2022)



Figura 1.6 - Microcontroladores Arduino
Fonte: <http://www.hackatronic.com>

Tradicionalmente um microcontrolador opera no intervalo de tensões entre 2,7 a 3,3 V, mas as novas famílias de controladores de baixa potência estão operando abaixo de 1,8 V. A frequência de relógio (clock) está a variar na faixa dos 4 MHz aos 400 MHz, como a frequência e a tensão são determinantes no consumo de potência, os seus valores devem ser os mais baixos possíveis desde que atendam aos requisitos da aplicação.

Quanto à memória, os nós sensores geralmente necessitam de espaço para armazenar temporariamente os dados dos sensores antes de processá-los e transmiti-los. Em geral, para armazenamento do programa é utilizada uma memória flash de 1 a 128 KB e para memória RAM de 32 a 128 KB.(Braga 2010)

1.4.3 Dispositivos de comunicação

Dispositivos de comunicação são responsáveis por transmitir os dados colectados, além de receber comandos de outros nós, composto por todo o sistema de transmissão, recepção, amplificação e antena, sendo responsável por interligar os vários nós na rede. Os dois tipos de comunicação mais utilizados nas RSSF são:

Comunicação por rádio frequência (RF) - Nas RSSF as frequências licenciadas de acordo com a norma IEEE 802.15.4 possuem as seguintes variações: 868 MHz, 902-928 MHz, 2,4 GHz. Um outro factor a ser levado em consideração numa transmissão por RF diz respeito às perdas de sinal. Estas perdas podem atingir elevados níveis que variam conforme a distância entre os nós sensores e possíveis obstáculos entre eles. Para além da potência de transmissão, existem outros factores que influenciam o alcance de transmissão tais como: a sensibilidade do receptor, o ganho e a eficiência da antena.(Braga 2010)

Comunicação por Laser (óptica) - Alguns projectos utilizam a luz (laser ou infravermelho) como forma de comunicação. Uma vantagem do uso deste meio de comunicação é a economia no consumo de energia, tendo como desvantagem a necessidade da comunicação ser direccional, ou seja, o transmissor deve ter linha de vista com o receptor.(Braga 2010)



Figura 1.7 - Dispositivo de comunicação por RF
Fonte: <http://www.hackatronic.com>

1.4.4 Fonte de Alimentação

Em geral são utilizadas baterias para alimentar os nós sensores. As baterias têm uma vida útil finita, pelo que a escolha da bateria a ser aplicada ao nó sensor deve ser considerada

em termos de volume, condições de temperatura e capacidade. As baterias mais utilizadas são: linear simples, lítio NR e lítio Coin Cell. A energia fornecida aos nós sensores é um dos aspectos mais focados no que refere às RSSF.(Costa 2022)



Figura 1.8 - Bateria de Lítio
Fonte: <http://www.hackatronic.com>

1.5 Tecnologias de Comunicação em RSSF

Os circuitos para comunicação sem fio são cruciais para as Redes de Sensores Sem Fio, a maioria das aplicações nesta área são projetadas sob restrições de energia e largura de banda. Tais restrições levam aplicações a limitar seus mecanismos de aquisição de dados para tipos de dados de baixa largura de banda para não comprometer a autonomia e o processamento de dados. Idealmente, um objectivo essencial em projetos de Redes de Sensores Sem Fio é um equilíbrio perfeito entre o tempo de vida de cada um dos nós sensores e a quantidade de dados transferida. O correto dimensionamento e configuração da comunicação utilizada são fundamentais para se estabelecer um baixo consumo de energia sem comprometimento do seu desempenho. (Costa 2022)

A comunicação sem fio existe desde o final do séc XIX, com Landell de Moura e Marconi, com a demonstração da telegrafia sem fio. Ao longo do séc. XX, as formas e meios de comunicação foram crescendo e mudando conforme a evolução das telecomunicações, com utilização de satélites, fibras ópticas, cabos submarinos, links de micro-ondas e diversas formas de comunicação sem fio. Para se utilizar o espectro eletromagnético para fins de transmissão e comunicação, as emissoras e operadoras necessitam de concessão governamental. No entanto, existem algumas faixas de frequência nas quais podem ser estabelecidas comunicação sem que essa formalização seja necessária. Ainda assim, os dispositivos que utilizam estas faixas de trabalho precisam estar em conformidade com o padrão escolhido.

As faixas de frequência utilizadas são conhecidas como bandas ISM (Industrial, Scientifical and Medical) e são reservadas internacionalmente para uso de radiocomunicação em aplicações industriais, médicas e científicas. Apesar das intenções iniciais, essas bandas começaram a ser utilizadas posteriormente para comunicação de curto alcance e de baixa potência.(Costa 2022)

Tabela 1.3 - Bandas ISM Fonte: (Costa 2022)

Bandas ISM (Industrial, Scientifical and Medical)					
Frequência Central	433,92 MHz	868 MHz	915 MHz	2,45 GHz	5,8 GHz
Faixa de operação	433,05 – 434,79 MHz	856 – 868 MHz	902 – 928 MHz	2,4 – 2,5 GHz	5,725 – 5,875 GHz

O IEEE, a partir de 1999, iniciou a criação do padrão 802, que são documentos estabelecendo especificações e procedimentos elaborados para garantir a confiabilidade de redes de acesso pessoal (Personal Area Network – PAN), local (Local Area Network – LAN), metropolitano (Metropolitan Area Network – MAN), amplo (Wide Area Network – WAN) e regional (Regional Area Network – RAN) e sua interação. Dentre as redes sem fio normatizadas pelo padrão, existem quatro grupos principais: (Costa 2022)

Wireless PAN: caracterizado por comunicação em curta distância, de até 10m. Nessa categoria está o padrão Zigbee e Bluetooth

Wireless LAN: abrange um raio de até 150m. É onde se encontra a tecnologia Wi-Fi – com transferências de 2Mbps (802.11a), 11 Mbps (802.11b), 58 Mbps (802.11g) e 108Mbps (802.11n);

Wireless MAN: abrange um raio de até 5km. O padrão WiMAX segue estas especificações e estabelece transferências de 35Mbps (802.16e) e 70Mbps;

Wireless WAN: opera nos moldes da comunicação celular, como o GSM, GPRS (General Packet Radio Service), CDMA, 2,5G e 3G, sendo uma forma de acesso sem fio de

banda larga móvel (Mobile Broadband Wireless Access – MBWA). Segundo o padrão, abrangem extensões de até 15km e lidam com taxas de transferência de 10kbps até 2,4Mbps;

Wireless RAN: sua operação envolve a interoperabilidade entre redes sem fio de alcances menores para fomentar a concorrência no acesso a banda larga. Ele se utiliza de canais vagos na banda de VHF e UHF – entre 54MHz e 862MHz. Seu alcance é de até 100km. As taxas de transferências são de 18Mbps a 24Mbps. (Costa 2022)

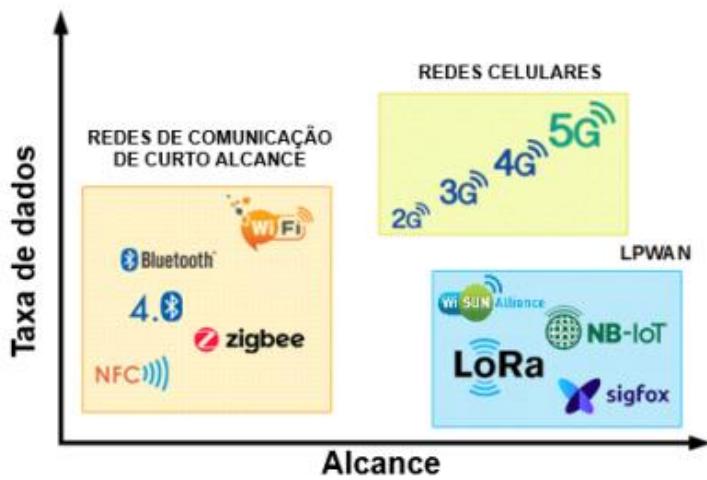


Figura 1.9 - Tecnologias de Comunicação Sem Fio Fonte: (Medeiros 2021)

1.5.1 Bluetooth

Foi originalmente desenvolvido pela Ericsson com o objetivo de permitir a comunicação sem fios entre vários dispositivos próximos. O Bluetooth actua no padrão IEEE 802.15.1. A ideia consistiu no desenvolvimento de um circuito integrado para ser implementado em larga escala, com baixo consumo de energia e baixo custo. O primeiro mercado a adotar esta tecnologia foram os telefones móveis, por serem chips fáceis de adicionar, mas posteriormente o seu uso foi expandido a outros equipamentos. (Pereira 2021)



Figura 1.10 – Bluetooth Fonte: (Pereira 2021)

Arquitectura de Rede - A comunicação Bluetooth inicia-se em dois passos: primeiro, procurar dispositivos na sua distância de comunicação e segundo existir um circuito de comunicação pré-estabelecido. Esta comunicação baseia-se no princípio de master-slave, ou

seja, o dispositivo principal é capaz de se ligar a seis, porém, os dispositivos slave não são capazes de comunicar entre si

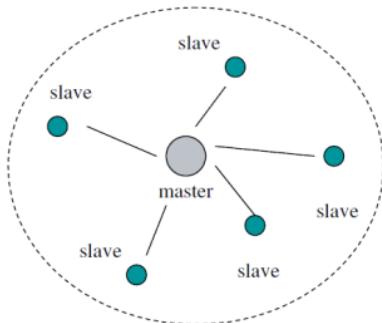


Figura 1.11 - Arquitetura Bluetooth Fonte: (Braga 2010)

1.5.2 ZigBee

ZigBee é um protocolo de comunicação sem fio que usa o padrão IEEE 802.15.4. Este protocolo pode ser aplicado em diversos cenários como, automação industrial, automação residencial e em cenários de monitoramento e coleta de dados. As principais características da tecnologia são: baixo custo e consumo de energia, baixa taxa de transferência de dados, suporte a diversas topologias de rede, criptografia dos dados em AES (Advanced Encryption Standard), de 128 bits.(Costa 2022)



Figura 1.12 - ZigBee Fonte: (Pereira 2021)

Diferente de uma rede WiFi convencional onde todos os dispositivos se conectam a um roteador, os dispositivos ZigBee podem formar topologias de redes diferentes. Estas redes são formadas por diferentes tipos de dispositivos:

Coordenador: inicia e administra a rede, permitindo que se juntem à rede outros dispositivos. Cada rede tem apenas um coordenador. (Pereira 2021)

Router: junta-se à rede criada pelo coordenador e reencaminha os pacotes de dados para os restantes membros da rede, criando a rede em malha.

Dispositivo final: tem funções limitadas, não sendo capaz de reencaminhar mensagens, o que lhe permite poupar energia e entrar em sleep mode quando não tem que enviar dados.

Topologias de rede - A estrutura de rede ZigBee pode apresentar diferentes topologias o que permite escolher a estrutura que melhor se enquadra com o projecto a desenvolver. A topologia indica a forma como os módulos rádio podem comunicar entre si. Esta rede pode ser organizada em três topologias: (Pereira 2021)

Estrela: o coordenador é o centro da rede, estando rodeado de dispositivos finais. Toda a informação passa pelo coordenador, que reencaminha para os outros dispositivos caso seja necessário. Os dispositivos finais não são capazes de comunicar entre eles diretamente.

Malha: nesta configuração são acrescentados módulos router à rede. Como já referido, estes permitem a passagem de mensagens de dispositivos final, sendo também capazes de comunicar com os seus pares. Podem ter agregados a si vários dispositivos finais. Este tipo de rede é estável e confiável, uma vez que no caso de falha de um dispositivo os restantes são capazes de comunicar entre si.

Árvore: é similar à topologia em malha, sendo que os routers agregam informação dos dispositivos finais e enviam-na para o coordenador. Os módulos router nesta topologia não comunicam entre si por estarem demasiado distantes fora do raio de comunicação. Esta topologia é utilizada quando se pretende cobrir uma grande área.

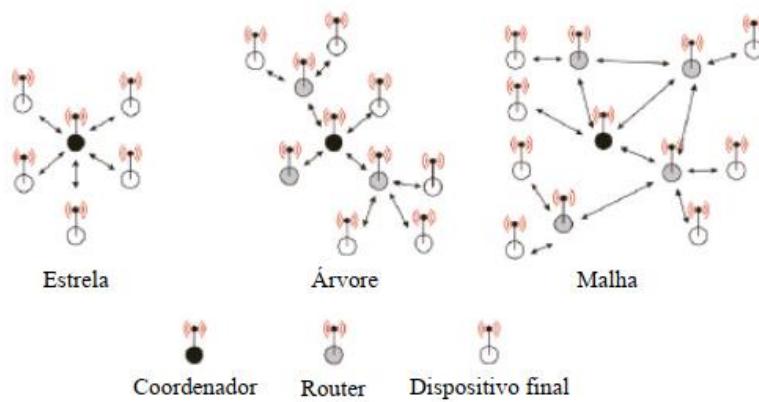


Figura 1.13 - Topologias ZigBee Fonte: (Pereira 2021)

1.5.3 LoRaWAN

O LoRaWAN foi um protocolo desenvolvido para superar os desafios de aplicações de IoT, possuindo como diferencial uma conectividade de longo alcance, além de um reduzido consumo de energia a custas de uma baixa taxa de dados. As redes LoRaWAN podem estabelecer conectividade de até 15 km em linha de visada, muito além do Wi-Fi, ZigBee e Bluetooth, com alcances de até 100 m.

Topologia da Rede - LoRaWAN é uma arquitetura de rede aberta, normalmente utilizado em topologias de rede do tipo estrela. Utiliza um modelo com duty cycle, ou seja, os dispositivos passam mais tempo em modo de espera do que transmitindo. (Gava 2020)

As redes LoRaWAN apresentam basicamente três componentes de rede: dispositivos finais, gateways e um servidor central. Os dispositivos finais só podem se comunicar com os gateways por meio da comunicação LoRa de salto único. Por outro lado, gateways são conectados ao servidor central via uma interface IP. Além disso, essas redes permitem a implantação de redes públicas e privadas, funcionando da mesma forma que os celulares. Os baixos custos de conectividade dessa tecnologia beneficiam a implantação de Rede de Sensores Sem Fio e IoT. (Gava 2020)

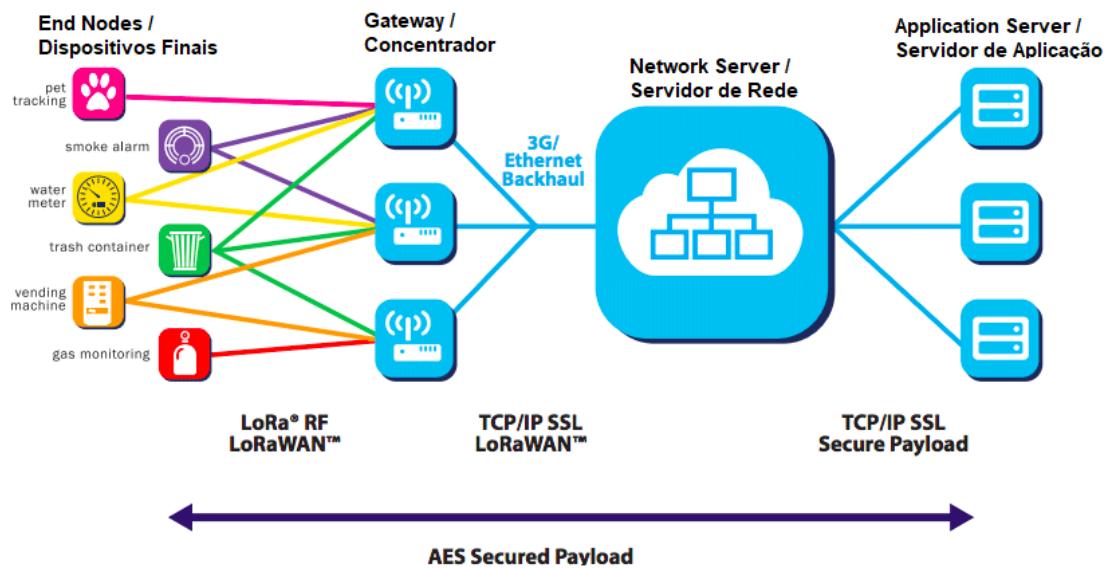


Figura 1.14 - Arquitetura LoRaWAN Fonte:(Medeiros 2021)

Em uma rede LoRaWAN, os nós não estão associados a um gateway específico. Em vez disto, os dados que são transmitidos por um nó geralmente são recebidos por vários gateways. Cada gateway encaminhará o pacote recebido do nó final para o servidor da rede na nuvem através de algum backhaul (celular, Ethernet, satélite ou Wi-Fi). A inteligência e a complexidade são enviadas ao servidor de rede, que gerencia a rede e filtra os pacotes recebidos redundantes, executa verificações de segurança, agenda o envio de pacotes de reconhecimento dos nós através do gateway. Muitas redes existentes utilizam uma arquitetura rede mesh, onde os nós finais encaminham as informações de outros nós para aumentar o alcance da comunicação e o tamanho da célula da rede. Desta forma, também é acrescentada complexidade à rede, diminuindo a capacidade da mesma e reduzindo a vida útil da bateria. A arquitetura em estrela em enlaces de longo alcance faz mais sentido para preservar vida útil da bateria quando é possível obter conectividade nestes enlaces. Levando em conta as necessidades de cada aplicação, a especificação do LoRaWAN define três classes disponíveis para diferentes estratégias do uso de energia. (Gava 2020)

Classe A: podem iniciar uma transmissão de uplink de acordo com suas próprias necessidades. Esta classe permite comunicação bidirecional e cada possui o menor consumo de energia.

Classe B: possuem uma janela de recepção extra em relação à classe A. Um beacon periódico enviado pelo gateway é necessário para sincronização. A principal ideia desta classe é ter o dispositivo disponível para uma recepção em um instante previsível. Esta classe tem consumo médio de energia.

Classe C: possuem praticamente uma janela de recepção aberta, estando fechada somente quando está transmitindo. Dispositivos finais que implementam a classe C consomem mais energia do que as classes A ou B, mas oferecem menor latência para a comunicação entre o servidor e o dispositivo fina.

1.5.4 Hyper Text Transfer Protocol

O protocolo HTTP é um protocolo de comunicação usado em sistemas de informação, não sendo o mais adequado para aplicações RSSF, tendo sido originalmente desenvolvido para que um navegador solicitasse uma página Web.

Actualmente, o HTTP/REST, é usado para permitir que dispositivos enviem e solicitem dados de servidores. Utilizando o HTTP pode -se ainda desenvolver uma Web Application Programming Interface (API), para um servidor ou web browser. Quando usado no modelo cliente-servidor, funciona como um protocolo de requisição de resposta, efetuando a intermediação dos elementos da rede para melhorar ou habilitar comunicações. Suporta múltiplos métodos de transmissão de dados, sendo os dois métodos mais populares nos dispositivos IoT, o GET e o POST. (Pereira 2021)

HTTP Connection

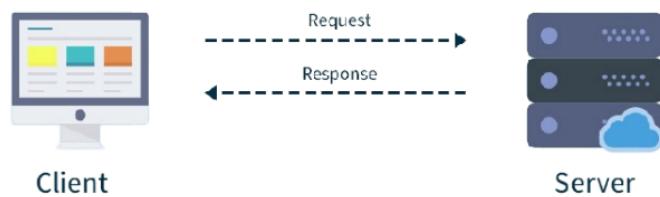


Figura 1.15 - Conexão HTTP Fonte: <https://www.w3schools.in>

1.5.6 Message Queuing Telemetry Transport

MQTT é um protocolo de comunicação baseado em fila de mensagens, que funciona sob o protocolo Transmission Control Protocol (TCP), seu principal objetivo é fornecer um meio de comunicação de máquina para máquina (M2M).

As características deste protocolo, fazem do MQTT uma opção para o desenvolvimento de projetos de IoT e RSSF, dentre suas características, temos: baixo consumo de banda, fácil implementação, baixo consumo de recursos dos dispositivos, assíncrono e escalável.

O MQTT utiliza o padrão publish/subscribe para a troca de mensagens. No padrão publish/subscribe, existe um elemento central responsável por gerir a comunicação entre as partes, esse elemento é denominado broker. Dessa forma, quando um cliente precisa disponibilizar informações para outro cliente, o mesmo envia as informações para o broker. Da mesma maneira, quando um cliente precisa receber um determinado dado, este cliente subscreve fazendo uma requisição ao broker. .(Costa 2022)

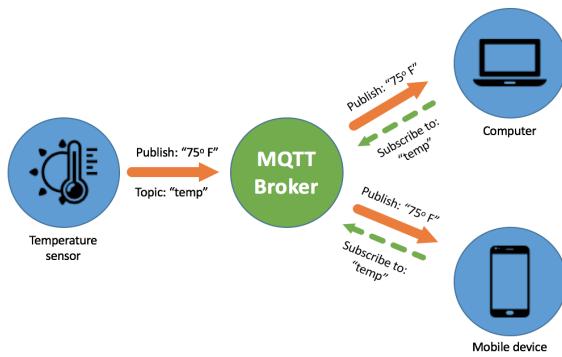


Figura 1.16 - Conexão MQTT Fonte:(Costa 2022)

O protocolo MQTT é usado por diversas plataformas, tais como Thin Speak, Mosquitto, Beebotte, Adafruit IoT, entre outras. Foi especialmente desenhado para ser mais leve que o Hyper Text Transfer Protocol (HTTP), necessitando de menos largura de banda, podendo ser utilizado em redes com menor fiabilidade.

1.6 Segurança em RSSF

A segurança das informações trafegadas entre os nós é de relevante importância, por possuir comunicação sem fio, são abertos precedentes para os mais diversificados tipos de ataques às informações. Assim um problema notável em RSSF é a forma de prover segurança de informação, sendo o foco de diversas pesquisas, já que algoritmos criptográficos exigem grande consumo de energia, processamento e memória, assim a escolha dos mecanismos apropriados é importante no fornecimento de segurança aos dados em RSSF. Apenas a escolha do algoritmo correto de criptografia não resolveria totalmente o problema de consumo de energia, visto que qualquer algoritmo impactará no consumo. Assim é interessante adicionar ao sistema um gerenciamento de segurança.(Gois, Lima, Ordonez 2015)

Um sistema de gerenciamento de segurança pode agir em uma rede activando e desativando serviços e funções de segurança sempre que necessário em resposta a eventos ocorridos em uma rede. Este sistema pode economizar energia da rede se não houver indicação ou suspeita de presença de intrusos. Ainda assim pode-se melhorar o consumo de energia implantando na rede um mecanismo de compartilhamento de segredos alternativo às conhecidas chaves públicas.(Gois, Lima, Ordonez 2015)

1.6.1 Atributos Básicos

Em segurança da informação existem quatro (4) atributos básicos necessários para prover segurança em um dado. (Gois, Lima, Ordonez 2015)

Integridade: Visa garantir que todas as características originais dos dados geradas no sensoriamento do nó sejam mantidas durante todo o roteamento até a estação central.

Confidencialidade: O direito de acessar a informação deve ser dado apenas ao nó que tem autorização para acessá-lo

Autenticidade: Visa garantir que o dado vem realmente do nó em que ela foi produzida, não sendo alvo de nenhum tipo de modificação no caminho;

Disponibilidade: A disponibilidade é fundamental, pois esta permite que o dado esteja sempre disponível para nós autorizados;

1.6.2 Ataques comuns em RSSF

Todos os ataques nas redes de sensores sem fio têm como objetivo o mau funcionamento da rede ou até a interrupção do serviço. Assim os ataques são executados de diversas formas, dentre as quais mencionamos:

Negação de serviço (Denial of Service – DOS) - Invalida a rede através de uma sobrecarga, tendo como objetivo consumir toda a memória e processamento da rede, a fim de fazer com que o serviço prestado pela rede seja interrompido. (Gois, Lima, Ordonez 2015)

Nós irmãos (Sybil attack) - Um nó malicioso assume a identidade de um ou mais nós legítimos podendo executar diversos tipos de ataques na rede, entre eles estão os ataques na agregação de dados, mecanismos de roteamento, alocação de recursos, armazenamento distribuído.(Gois, Lima, Ordonez 2015)

Inundação da rede (Hello flood attack) - Um nó falso com alta capacidade de processamento e com alta potência de sinal inunda a rede com mensagens HELLO, isso causa congestionamentos em toda rede. Além disso, todos demais nós irão pensar que este nó falso é um vizinho, podendo também criar rotas falsas.

Interferência (Jamming) - Um nó malicioso possui um transceptor potente configurado para utilizar a mesma frequência dos nós sensores, podendo ocupar o canal de comunicação com ruído e impedir que os nós sensores recebam qualquer tipo de mensagem.

1.6.3 Mecanismos de Defesa

Gerenciamento de segurança e energia - Consiste em ligar e desligar módulos de segurança visando aumentar o tempo de vida da rede ao máximo através da economia de energia.(Gois, Lima, Ordóñez 2015)

Encriptação - Consiste no processo de transformar uma informação comum em uma informação codificada usando-se de um algoritmo criptográfico. No caso específico das RSSF, a encriptação dos dados pode ser feita por um processo fim-a-fim ou salto-a-salto.

Sistema de detecção de intrusos (IDS) - Um sistema de detecção de intrusão tem como objetivo detectar diversos tipos de comportamentos maliciosos na rede, gerando alertas a partir de eventos. Se alguma intrusão for detectada os alertas são enviados e podem existir dois tipos de resposta: activa e passiva. Na activa o comportamento malicioso é tratado pelo próprio sistema. Já na passiva, o sistema apenas gera relatórios para que o administrador da rede possa observar e tomar as providências cabíveis. (Gois, Lima, Ordóñez 2015)

Os principais métodos de detecção de um IDS são baseados em assinatura e em anomalias. Nestes mecanismos, cada nó sensor monitora seus vizinhos à procura de um comportamento suspeito. Assim que uma actividade maliciosa é detectada, nós vizinhos trocam informações sobre o nó suspeito.

1.7 Estado da arte

Actualmente, os incêndios queimam por ano uma grande quantidade de área florestal. Este facto ocorre principalmente no Verão, devido às elevadas temperaturas e baixo índice de humidade. Existem soluções para minimizar a probabilidade de incêndio. São usados dois métodos tradicionais, em que o primeiro consiste em vigilância aérea, com o uso de helicópteros ou aviões, e o segundo método baseia-se em pontos de observação, em locais estratégicos, normalmente no cimo de morros ou colinas. Uma alternativa a estes métodos é o uso de redes de sensores sem fios. Os sensores podem ser colocados manualmente ou,

quando a região é de muito difícil acesso, poderão ser utilizados aviões ou helicópteros para a distribuição dos mesmos.(Braga 2010)

1.7.1 Soluções Internacionais

Sistema FFSS

Nas montanhas do Correia do Sul foi aplicado um sistema de prevenção contra incêndios florestais em tempo real designado por FFSS (Forest-Fire Surveillance System) em que na possibilidade da ocorrência de um incêndio o sistema emite um alerta. O FFSS usa um nó sensor TIP50CM, um módulo que vem incorporado com sensores de luminosidade, temperatura e humidade, fornece uma ligação flexível com periféricos. Este módulo pode ser aplicado a uma larga gama de aplicações que utilizam redes em malha. (Braga 2010)

O sistema FFSS monitoriza parâmetros ambientais da floresta e determina o nível de risco de incêndio através de uma fórmula específica para o efeito. O sistema FFSS dispõem de nós sensores, um computador para recepção dos dados, sendo utilizada uma aplicação informática para colocar os dados numa base de dados e on-line.

O Sink node é o nó que recebe os vários pacotes de dados fornecidos pelos nós sensores e reencaminha-os para a Gateway, a qual verifica e analisa os dados de interesse e envia-os para uma aplicação informática que mostra num ecrã os dados monitorizados. Esta mesma aplicação não só serve para colocar os dados numa base de dados para uma futura análise estatística, mas como também serve para colocar os dados numa aplicação Web, possível de ser acedida em qualquer parte do mundo. Na ocorrência de um incêndio, a aplicação dispara um alarme e o software foi concebido para mostrar ao administrador as várias opções de ajuda que deseja contactar para a extinção do incêndio florestal. (Braga 2010)

Sistema FireBug

Monitorizar dados em tempo real é importante para minimizar os prejuízos efectuados por incêndios nas florestas. O sistema FireBug foi concebido para monitorizar fogos incontroláveis utilizando nós sem fios com sensores de temperatura, humidade, luminosidade e um módulo de localização (GPS).

Os sensores são agrupados numa placa de circuito impresso a qual é ligada a um nó Mica2. A arquitectura do sistema Firebug é semelhante ao do sistema FFSS. Da mesma forma, os dados após serem enviados para o computador são armazenados numa base de dados (Servers), os quais podem ser consultados por uma aplicação Web (Clientes). Neste sistema como temos o módulo GPS (Leadtek 9546) incorporado é possível detectar o local onde ocorre o incêndio com uma precisão num raio de 5 m. (Braga 2010)

TUTWSN

Foi desenvolvida pela Tampere University of Technoly um protótipo para a elaboração de uma rede de sensores sem fio para monitorização ambiental. O protótipo é controlado pelo microcontrolador Microchip PIC18LF4620, um rádio Nordic Semiconductor nRF905 operando na frequência dos 433 MHz com uma sensibilidade de -100 dBm e uma potência de transmissão ajustável entre -10 a 10 dBm. O rádio é conectado a um dipolo dobrado numa placa de circuito impresso. O sensor de temperatura utilizado é o Dallas Semiconductor DS620 o que tem uma precisão de ± 0.5 °C desde 0 a 70°C e opera a uma gama de temperaturas entre -55 a 125 °C. Como fonte de alimentação é utilizada uma bateria de lítio (CR123A) com 3V/1600mAh. O circuito opera a uma tensão de 2,25V necessitando do regulador de tensão Max1725. (Braga 2010)

O consumo energético mínimo deste protótipo quando todos os componentes estão no estado “dormindo” é de 31 μ W para uma tensão de 3V. No estado activo o consumo de energia pode variar dependendo da potência de transmissão do rádio. Para uma potência de transmissão de -10 dBm obtém-se 70 mW e para +10dBm dá 133.28 mW. Em termos de dimensões o protótipo tem 255 mm x 21 mm o que lhe confere uma estrutura alongada para uma melhor fixação num ponto de monitorização.

Os nós podem não estar em linha de vista e são colocados a 1 m do solo normalmente presos a uma árvore. De acordo com os dados obtidos a partir dos valores das baterias é esperado que a duração da rede seja de 6 meses gerando 4 pacotes por minuto. (Braga 2010)



*Figura 1.17 - (a) TIP50CM (b) MICA2 (c) TUTWSN
Fonte:(Braga 2010)*

1.7.1 Soluções Nacionais

Em Angola, a aplicação prática de tecnologias de monitoramento ambiental com redes de sensores sem fio ainda é limitada, mas começam a surgir iniciativas relevantes no meio académico. Um exemplo é o trabalho de Daniel Leão Sequeira, intitulado “Aplicação de Sensores Inteligentes para o Monitoramento de Recursos Naturais”, desenvolvido no Instituto Politécnico da UJES. O estudo discute o uso de sensores para monitoramento da qualidade do ar, do solo e da água, e destaca os desafios e oportunidades da adoção de tais tecnologias no contexto angolano, incluindo questões de custo, infraestrutura de rede e autonomia energética.

Apesar da existência do Parque Nacional da Quiçama como uma das maiores áreas de conservação ambiental em Angola, não há registos públicos de sistemas tecnológicos de monitoramento ambiental automatizado implementados na região. A gestão do parque depende, em grande parte, de métodos manuais de observação, o que compromete a eficácia na resposta a eventos críticos, como incêndios florestais ou alterações bruscas nos microclimas locais.

Esta lacuna tecnológica reforça a relevância do presente trabalho, que propõe a implementação de uma Rede de Sensores Sem Fio baseada em ESP32 e LoRa, com autonomia energética e capacidade de cobertura em larga escala, visando a conservação da biodiversidade do parque e a modernização dos métodos de monitoramento ambiental.

1.8 Metodologia de investigação

O presente trabalho de investigação é caracterizado como exploratório e aplicado, de natureza experimental, uma vez que visa proporcionar uma solução tecnológica para o monitoramento ambiental no Parque da Quiçama por meio de uma Rede de Sensores Sem Fios para prevenção de incêndios florestais.

A metodologia utilizada combina os métodos científicos de investigação teóricos e empíricos, dentre os quais, destacamos os seguintes: Analítico-Sintético, Análise Histórica-Lógica, Modelação-Simulação e Hipotético-Dedutivo. (Koche, 2016)

Analítico-Sintético: A aplicação deste método permitiu a busca, investigação e análise de artigos, livros e trabalhos necessários para entender o processo de monitoramento ambiental através das RSSFs.

Análise Histórica-Lógica: A aplicação deste método permitiu conhecer os antecedentes e elementos da investigação referidos aos processos de planejamento e controle e a determinação das tendências actuais sobre a temática em estudo. (Koche, 2016)

Hipotético – Dedutivo: A aplicação deste método possibilitou de uma forma sistemática a verificação as novas hipóteses por meio de dedução e experimentação.

Modelação/Simulação: A aplicação deste método permitiu a representação, compreensão e prevenção de fenómenos complexos por meio da criação de abstrações com o objectivo de explicar a realidade.

O desenvolvimento prático do trabalho envolveu as seguintes etapas: levantamento bibliográfico, definição de conceitos funcionais do projecto, modelagem da arquitectura da rede, simulação de cenários e avaliação de desempenho. A avaliação é realizada por meio de observações empíricas e simulações no contexto real de uso, com análise de eficiência energética, cobertura da área monitorizada e precisão dos dados monitorizados.

1.9 Ferramentas de apoio para a solução

1.9.1 Wokwi

O Wokwi é um simulador online que pode ser usado para simular diversos tipos de microcontroladores, incluindo Arduino, Raspberry Pi e ESP32. Isso permite que o usuário teste o código e veja os resultados sem precisar de um dispositivo físico. Os usuários também podem criar projetos de IoT combinando hardware e software disponíveis.



Figura 1.18 - Simulador Wokwi Fonte: Autor

Existem vários motivos pelos quais alguém pode escolher usar o simulador Wokwi no desenvolvimento de um projeto:

Custos mais baixos: com o Wokwi, os usuários não precisam comprar hardware ou sensores para testar seu código, reduzindo o custo envolvido na construção de um projeto.

Flexibilidade e mobilidade: o Wokwi pode ser acessado de qualquer lugar, desde que haja conexão com a internet, permitindo que os usuários trabalhem de qualquer lugar.

Redução de problemas de hardware: ao usar um simulador, os usuários podem solucionar problemas de hardware, como erros de compatibilidade e conexão, antes de implementá-lo em um dispositivo físico.

Colaboração e suporte da comunidade: O Wokwi possui recursos de colaboração que permitem aos usuários trabalhar em conjunto e compartilhar seus projetos com outras

pessoas. Ele também oferece acesso a uma comunidade ativa, onde os usuários podem trocar ideias, dar sugestões e ajudar uns aos outros.

1.9.2 Node-Red

O Node-RED é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxo para programação visual. Essa ferramenta de código aberto, foi desenvolvida para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online de forma criativa e fácil. Trata-se, principalmente, de uma ferramenta visual projetada para a Internet das Coisas, mas também pode ser usada em outras aplicações para montar fluxos de diversos serviços de forma muito rápida.

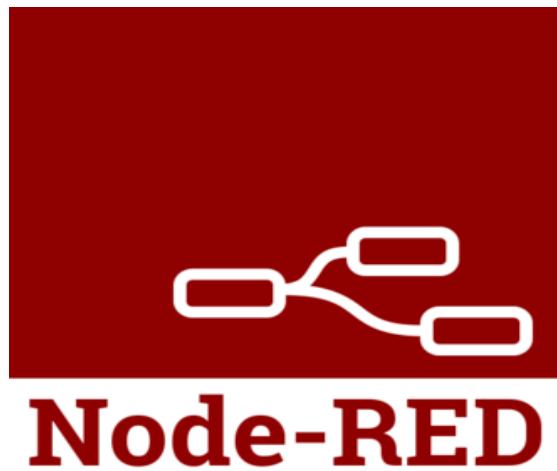


Figura 1.19 - Node-Red Fonte: <https://github.com/node-red>

O Node-Red é construído usando blocos de código de software baseados em JavaScript, chamados nós. Esses nós pré-construídos reduzem a exposição ao risco no desenvolvimento de software e aceleram o tempo de lançamento no mercado. Os nós são visualmente arrastados e soltos para tornar o desenvolvimento de aplicações IoT mais simples, fácil de repetir e rápido de escalar.

Principais recursos do Node-RED:

- ✓ Suporta edição de fluxo baseada em navegador, tornando-o acessível e visual;
- ✓ O Node-RED pode ser executado localmente
- ✓ Capacidade de execução em ambientes de nuvem como AWS, Microsoft Azure, SenseTecnic FRED

- ✓ Suporte integrado para protocolos MQTT, CoAP, AMQP, BLE, OPC UA e até mDNS

1.9.2 CupCarbon

O CupCarbon é um simulador para Internet das coisas (IoT), Smartcities e Rede de Sensores Sem Fio (RSSF). Está disponível online, o software foi desenvolvido em JAVA e não necessita de instalação, basta descompactar o ficheiro ZIP para uma pasta à escolha e abrir o ficheiro “cupcarbon.jar”, desde que se tenha uma versão do JAVA instalada. Esta plataforma integra API do OSM (Open Street Maps) e Google Maps, para simular em locais reais, ou utilizar um fundo uniforme.



Figura 1.20 – CupCarbon Fonte: <https://cupcarbon.com>

A arquitetura do CupCarbon consiste em duas camadas: A primeira camada diz respeito aos módulos utilizados para construir a simulação. A segunda camada diz respeito à própria simulação. A Figura a seguir mostra os diferentes módulos do CupCarbon.

CAPÍTULO II: EXPLICAÇÃO DO TEMA

2.1 Características do Parque da Quiçama

O Parque Nacional da Quiçama é um parque nacional angolano, localizado no município da Quissama, actualmente na província de Ícolo e Bengo, tem uma área total de 9600 km². Os seus limites são, a norte o rio Kwanza, desde a sua foz até à Muxima; a sul o rio Longa, entre a foz e a estrada de Mumbondo a Capolo; a oeste a linha da costa entre a foz dos rios Cuanza e Longa; e a leste a estrada que vai da Muxima, Demba Chio, Mumbondo e Capolo até ao rio Longa. (Ministério do Ambiente 2020)

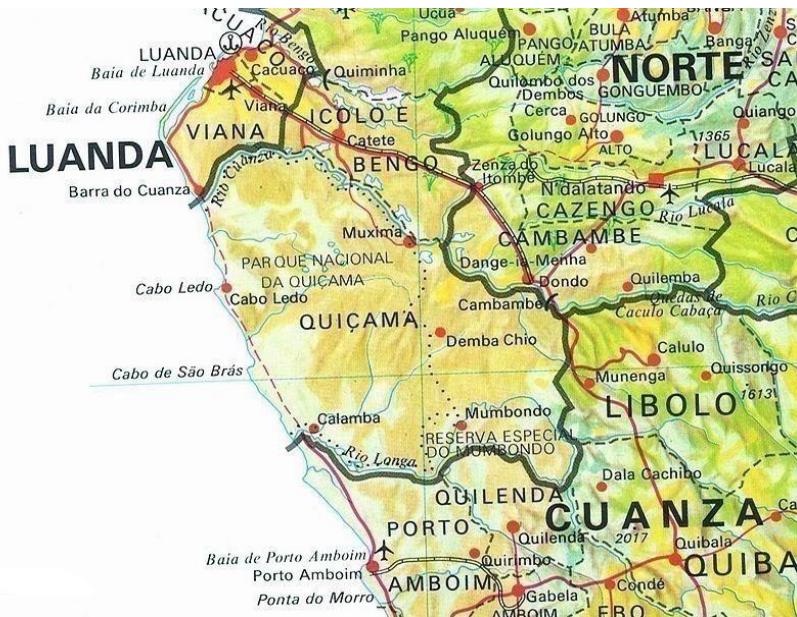


Figura 2.1 - Mapa do Parque da Quiçama
Fonte: <https://www.traveldrafts.com>

O Parque da Quiçama é um dos maiores parques do país e uma das fontes de riqueza da província, devido à sua localização geográfica junto ao rio Kwanza e o Oceano Atlântico. Foi estabelecido como Reserva de Caça em 16 de Abril de 1938, foi elevado à condição de Parque Nacional a 11 de Abril 1957, conta hoje com um estabelecimento para visitantes, uma pousada e vários bungalows. (Ministério do Ambiente 2020)

Durante muito tempo, e devido a guerra civil, foi o único parque nacional de Angola em funcionamento. O parque albergava, uma abundante vida animal, como elefantes, palanca-

negra-gigante, entre muitas outras espécies, mas após 25 anos de guerra civil a população animal foi vastamente eliminada. (Ministério do Ambiente 2020)



Figura 2.2 - Fauna e Flora do Parque Fonte: <https://www.traveldrafts.com>

A vegetação varia muito das margens do rio Kwanza para o interior do parque, com manguezais, mata densa, savana, árvores dispersas, cactos, imbondeiros e grandes zonas de arvoredo. A variedade de vegetação resulta numa fauna abundante e variada, diversidade nas espécies que podemos encontrar neste parque (Ministério do Ambiente 2020)

A Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 5/98 de 5 de Junho) refere que Áreas de Protecção Ambiental “são espaços bem definidos e representativos de biomas ou ecossistemas que tem interesse em preservar, onde não são permitidas actividades de exploração dos recursos naturais, excepto a utilização para turismo ecológico, educação ambiental e investigação científica. As áreas de protecção ambiental podem ter várias classificações de acordo com o seu âmbito e objectivo”. A designação Parque Nacional reverte para uma área reservada para conservação, protecção e propagação da fauna e flora endógenas, para benefício e lazer público. O Parque Nacional da Quiçama (PNQ) foi protegido inicialmente como uma reserva de caça pelo Decreto Governamental nº. 2620 de 16 de Abril de 1938 (Boletim Oficial – I Série nº. 16) e em seguida foi elevado a Parque Nacional pelo Diploma Legislativo nº 2873 de 11 de Dezembro de 1957 (Boletim Oficial – I Série nº. 50).

O Parque Nacional da Quiçama é um dos maiores patrimônios naturais de Angola, para garantir a conservação desses ecossistemas e a proteção das espécies ameaçadas, o monitoramento ambiental contínuo é fundamental. O Plano de Gerenciamento do Parque de 2020, enfatiza a importância desse monitoramento para compreender melhor os ecossistemas e implementar medidas eficazes para a preservação. No entanto, a falta de recursos tecnológicos adequados, dificulta a fiscalização eficiente e limita a eficácia das ações de conservação. (Ministério do Ambiente, 2020).

A região da Muxima, que integra o parque, com aproximadamente 408,15 km², enfrenta desafios ambientais significativos. A ocorrência de incêndios florestais, a pressão humana resultante da expansão agrícola desordenada e do turismo ilegal ameaça os habitats naturais da área. O uso intensivo de terras para cultivo nas proximidades do rio Kwanza acelera a erosão do solo. Para enfrentar esses desafios, é fundamental a implementação rigorosa do Plano de Gestão 2020, que propõe fortalecer a fiscalização com tecnologias modernas e adotar práticas de zoneamento ambiental para controlar as atividades humanas. Como afirmado no plano, "a menos que haja vontade política para aplicar as normas de conservação, o parque perderá seu valor ecológico e económico" (Ministério do Ambiente, 2020, p. 67).

Portanto, a gestão sustentável do Parque Nacional da Quiçama depende da implementação de tecnologias inovadoras e de políticas públicas coordenadas que integrem a preservação do meio ambiente, a recuperação das áreas degradadas e a promoção de práticas sustentáveis. A colaboração entre o governo, ONGs e a comunidade local é essencial para garantir que o parque continue a ser um recurso valioso para a biodiversidade de Angola e para o desenvolvimento económico da região.

2.2 Arquitectura Proposta

2.2.1 Visão geral

A proposta deste trabalho consiste numa arquitectura distribuída de colecta de dados por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio, com a finalidade de ser aplicado ao monitoramento ambiental na região da Muxima no Parque da Quiçama. Os dados colectados por meio dos nós sensores da rede serão enviados, por meio do protocolo de comunicação

LoRaWan, para uma central de dados, composto por um servidor de rede e de aplicação. Um dashboard, desenvolvido no Node-Red, no servidor de aplicação será responsável por disponibilizar os dados colectados pela rede para análise e melhor visualização.

A arquitectura proposta pode ser dividida em três (3) grupos, para melhor compreensão, nomeadamente: Sensoriamento, Agregação e a Central de dados.

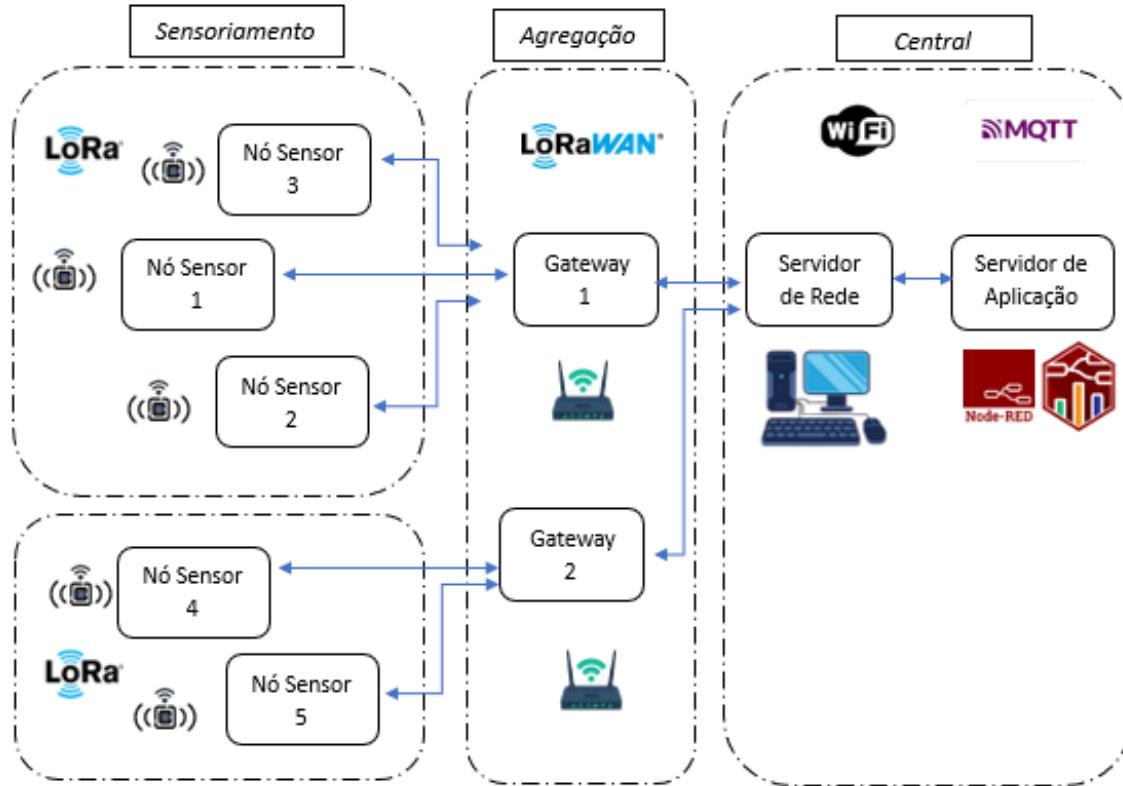


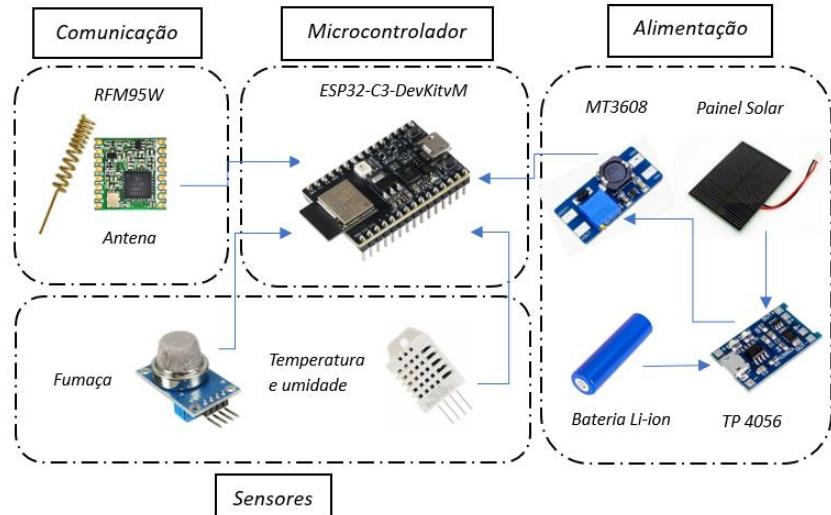
Figura 2.3 - Arquitetura Proposta
Fonte: Autor

Em seguida serão apresentados os principais componentes da rede, que podem ser caracterizados em três (3) distintos grupos, nomeadamente: Nó Sensor, Nó Gateway e Central de dados (Servidor de Rede + Servidor de Aplicação).

2.3 Nó Sensor

O nó sensor é um elemento crucial do grupo de sensoriamento, constitui a camada física da rede, responsável por colectar os dados dos sensores, processar e transmiti-los, para o nó gateway directamente, utilizando a comunicação LoRa. A figura a seguir apresenta

a arquitetura de um nó sensor, composto por um conjunto de sensores, um microcontrolador, um módulo de comunicação LoRa e uma fonte de alimentação.



*Figura 2.4 - Arquitetura do Nó Sensor
Fonte Autor*

2.4 Nó Gateway

O nó Gateway é um elemento principal do grupo de agregação dos dados, constitui a camada de rede, responsável solicitar e colectar os dados dos nós sensores, agrupar e repassá-los para a Central de dados. A figura a seguir apresenta a arquitetura de um nó gateway, que assim como o nó sensor é composto por um microcontrolador ESPP32-C3 DevkitcM-1, além de um módulo de comunicação Lora e uma fonte de alimentação.

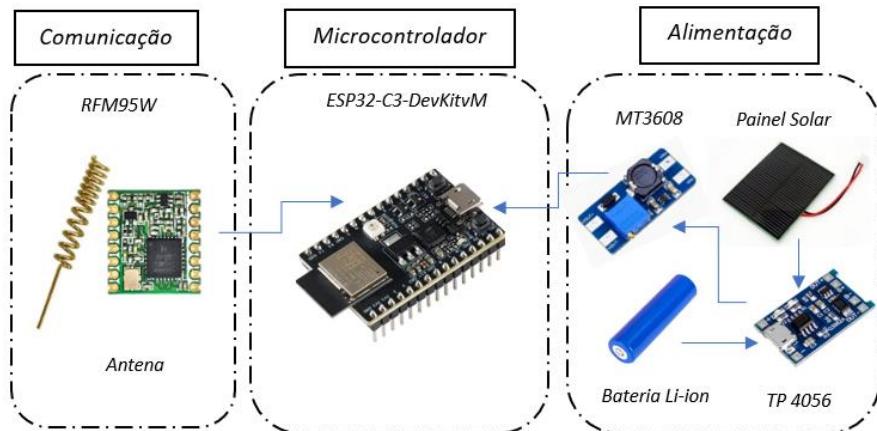


Figura 2.5 - Arquitetura do Nó Gateway Fonte Autor

2.5 Central de Dados

A Central de Dados constitui o destino final da rede, é composto por um servidor de rede e um servidor de aplicação, com funções distintas entre si.

Servidor de rede – é um software executado em um servidor que gerencia toda a rede. O servidor de rede é responsável por gerenciar gateways, nós sensores (dispositivos finais), aplicativos e usuários em toda a rede LoRaWAN, estabelecer conexões AES seguras de 128 bits para o transporte de mensagens entre dispositivos finais e o Servidor de Aplicativos, validar a autenticidade dos dispositivos finais e a integridade das mensagens, verificar o endereço do dispositivo, responder a todos os comandos da camada MAC.

Servidor de aplicação - é um software executado em um servidor que é responsável por processar dados de aplicativos com segurança. O Servidor de Aplicação processa mensagens de dados específicas do aplicativo recebidas dos dispositivos finais. Uma rede LoRaWAN pode ter mais de um Servidor de Aplicação. Neste projecto usarmos o Node-Red que vai receber os dados via MQTT.



Figura 2.6 – Central de dados Fonte Autor

Na próxima secção, veremos com mais detalhes a composição dos nós da rede e o princípio básico de funcionamento de cada elemento.

2.6 Componentes dos Nós da Rede

2.6.1 Sensor de humidade e temperatura – DHT22

O sensor de humidade e temperatura DHT22, também conhecido como AM2302, é um dispositivo de medição confiável e preciso, amplamente utilizado em projetos de monitoramento ambiental e controle de clima. Com sua capacidade de medir a humidade relativa e temperatura com precisão em uma ampla faixa de operação (-40°C a +80°C), oferece dados essenciais para sistemas de automação residencial, estufas, sistemas HVAC e aplicações agrícolas.



Figura 2.7 - Pinagem DHT22
Fonte: <https://www.makerhero.com>

Sua interface simples de três pinos e baixo consumo de energia o tornam fácil de integrar em projetos eletrônicos, enquanto sua resposta rápida de 2 segundos permite uma atualização eficiente dos dados ambientais.

O sensor de umidade e temperatura DHT22 funciona utilizando um termistor para medir a temperatura e um elemento de polímero capacitivo para medir a humidade relativa do ar. Quando alimentado, o sensor aquece o termistor para medir a temperatura ambiente. Simultaneamente, o elemento capacitivo absorve ou libera moléculas de água do ar circundante, alterando sua capacidade de acordo com a humidade. Essas mudanças capacitivas são convertidas em sinais digitais e transmitidas ao microcontrolador através do pino DADOS. O microcontrolador, então, processa esses sinais para calcular e exibir as leituras de umidade e temperatura.

Tabela 2.1 - Especificações do sensor DHT22 Fonte Autor

Especificações do sensor DHT22	
Modelo	AM2302
Tensão de operação	3-5 v (máximo 5,5 v)
Faixa de medição de umidade	0 a 100 % UR
Faixa de medição de temperatura	- 40° C a + 80° C
Corrente	Máximo de 2,5 mA (durante o uso) 100 µA a 150 µA (em modo de espera)
Precisão de umidade de medição	± 2,0 % UR
Precisão de medição de temperatura	± 0,5° C
Resolução	0,1
Tempo de resposta	2 segundos
Dimensões	25 mm x 15 mm x 7 mm (sem terminais)

2.6.2 Sensor de gases e fumaça – MQ-135

O sensor de gases tóxicos e fumaça MQ-135 é capaz de detectar a concentração de vários gases tóxicos em um ambiente tais como: amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico e também fumaça ou álcool, concentrações entre 10 e 1000 ppm. 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 2.8 - - Sensor MQ-135
Fonte: <https://www.makerhero.com>*

Os módulos da família MQ, são sensores de gás do tipo MOS (Metal Oxide Semiconductor). Internamente, o sensor tem uma resistência com o seguinte princípio de funcionamento, quanto maior for a concentração de gás tóxico, menor será a resistência. Consequentemente, a tensão na saída do sensor segue a regra de que quanto maior a concentração de gás, maior será a tensão de saída e quanto menor for a concentração de gás, menor será a tensão de saída

Para uma melhor leitura e funcionamento do módulo sensor, deve ser respeitado um tempo de queima de aproximadamente 3 minutos para testes simples e 24 horas para o funcionamento real. Durante o período de queima o sensor poderá fazer leituras muito divergentes. O sensor de gases tóxicos MQ-135 deve ser utilizado apenas para fins experimentais. Não recomendamos o uso do mesmo em projectos profissionais ou que envolva segurança humana ou ambiental.

Tabela 2.2 - Especificações do Sensor MQ-135 Fonte Autor

Especificações do sensor MQ-135	
Modelo	MQ-13
Concentração de detecção	10 – 1000 ppm
Tensão de operação	5v
Comparador	LM393
Dimensões	240 mm x 25 mm x 22 mm

2.6.3 Módulo Transceptor Lora RFM95W

O transceptor RFM95 é um módulo de comunicação LoRa de longa distância, que oferece comunicação por espectro expandido de alcance ultra-longo, forte imunidade a interferências e consumo de corrente extremamente baixo. O RFM95 adota a tecnologia patenteada de modulação LoRa da Huapu RF. Apresenta uma sensibilidade de recepção superior a -148 dBm, com baixo custo de cristal e materiais.

Sua alta sensibilidade, combinada com um amplificador de potência integrado de +20 dBm, reduz significativamente o orçamento de enlace, sendo ideal para aplicações que exigem desempenho estável e comunicação a longas distâncias. A tecnologia LoRa™ apresenta vantagens consideráveis em relação às tecnologias de modulação tradicionais, especialmente em termos de modularidade, sensibilidade e capacidade de resolver problemas relacionados à longa distância, resistência a interferências e consumo de energia.

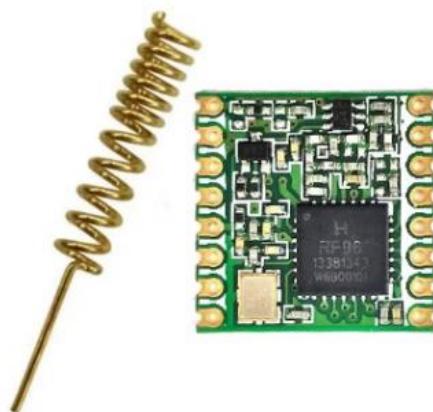


Figura 2.9 - Módulo RFM95W + Antena Fonte: <https://www.autocorerobotica.com>

O RFM95 também oferece suporte ao modo de modulação (G)FSK de alto desempenho, sendo compatível com sistemas como WMBus, IEEE 802.15.4g, entre outros. O módulo proporciona baixa emissão de ruído de fase, alta sensibilidade, cadeia de recepção de alta qualidade e excelente linearidade (IIP3), além de apresentar consumo de corrente significativamente inferior ao de dispositivos similares disponíveis no mercado.

Tabela 1.3 - Especificações do RFM95W Fonte Autor

Especificações do RFM95W	
Frequência de trabalho	868 / 915 MHz
Modulação	LoRa, FSK, GFSK, 00K
Tensão operação	1,8 – 3,7v (mín 3.3v)
Potência de Tx	20 dBm
Sensibilidade de Rx	-123 dBm / -148 dBm
Taxa de Transmissão	200 kbps
Interface de dados	SPI
Temperatura de operação	- 20 a 70 °C
Dimensões	16mm x 16mm

2.6.4 Microcontrolador – ESP32-C3-DevKitM-1

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e baixo consumo de energia desenvolvido pela empresa chinesa Espressif Systems, lançado em 2016. É considerado um dos microcontroladores mais poderosos e versáteis disponíveis no mercado, especialmente em termos de conectividade, pois possui suporte a Wi-Fi, Bluetooth, BLE integradas, bem como maior poder de processamento e mais recursos.

Assim como o Arduino, o ESP32 também é programado usando uma linguagem de programação de alto nível, como C ou C++, e pode ser programado usando uma variedade de ferramentas de desenvolvimento, incluindo a Arduino IDE, a plataforma Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF). O ESP32 tem sido usado em muitos projetos de IoT, robótica, automação residencial, monitoramento de temperatura, umidade, controle de acesso, smartwatch e outros projectos electrônicos.

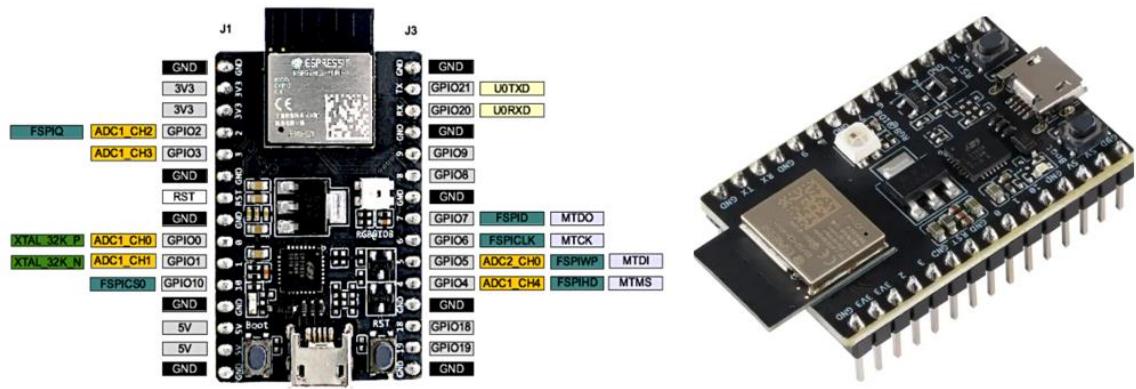


Figura 2.10 - Pinagem ESP32-C3-DevKitM-1

Fonte: <https://docs.espressif.com/>

Existem vários tipos de módulos ESP32 disponíveis no mercado, produzidos por diferentes fabricantes, cada um com suas próprias especificações e recursos exclusivos. Neste projeto vamos usar o ESP32-C3-DevKitM-1.

A placa de desenvolvimento ESP32-C6-3-DevKitM-1 é uma placa de desenvolvimento da família ESP32, baseada no módulo ESP32-C3-MINI-1, um módulo que leva esse nome devido ao seu tamanho compacto. Esta placa integra funções completas de Wi-Fi e BLE (Bluetooth Low Energy). A maioria dos pinos de E/S do módulo ESP32-C3-MINI-1 são divididos em conectores de pinos em ambos os lados desta placa para facilitar a interface..

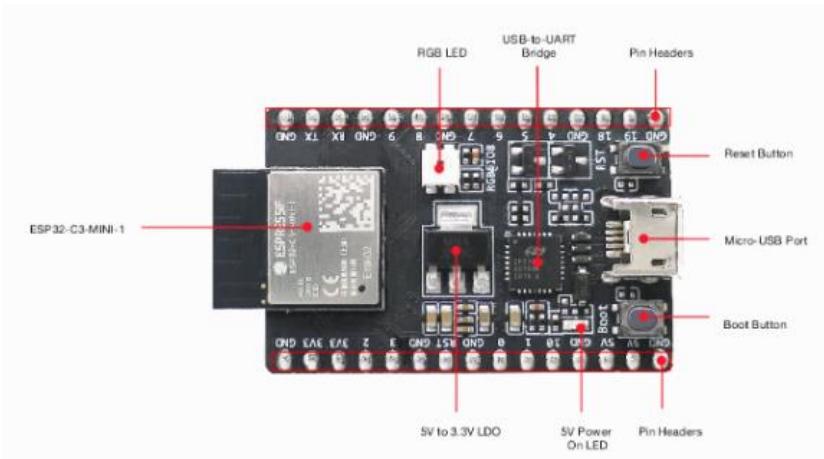


Figura 2.11 - Diagrama de componentes

Fonte: https://docs.espressif.com

Vale destacar seu processador 32bits RISC-V com um single-core a 160MHz e suas 22 GPIOs, proporcionando um excelente desempenho e flexibilidade para uma ampla variedade de aplicações. Além disso, a placa inclui um LED RGB integrado, permitindo indicações visuais dinâmicas e status de operação.

Tabela 2.4 - Especificações do ESP32-C3-DevKitM-1 Fonte Autor

Especificações do ESP32-C3-DevKitM-1	
Modelo	ESP32-C3-DevKitM-1
Controlador	ESP32-C3-MINI-1
Tensão operação	5V DC (USB) / 5V / 3,3V;
Microprocessador	RISC-V 32bits
Clock	160MHz
Memória	384KB ROM, 400KB SRAM, 8KB RTC SRAM, 4MB SPI Flash
Protocolo de Comunicação	BLE 5.0, WiFi 802.11 b/g/n de 2.4 GHz
Interfaces Suportadas	GPIO, SPI, UART, USB, I ² C, WiFi e Bluetooth
Consumo	Modo sleep: ~5 µA / Ativo: ~50 mA
Temperatura de Operação	-40 ~ +85°C
Dimensões	53mm x 28 mm x 5mm
Peso	9g

2.6.5 Conversor MT3608

O Módulo conversor de tensão é um dispositivo desenvolvido para aplicação em projetos electrônicos onde são necessárias diferentes tensões e correntes para acionamento de componentes electrônicos. Composto pelo conversor MT3608, ele trabalha com tensões

de entrada de 2V a 24V, oferecendo em suas saídas tensões de 2,5 a 28V que podem ser ajustadas conforme sua necessidade, por meio de um trimpot.

O Conversor Dc Step Up MT3608 é ideal para alimentação de motores, relés, displays, microcontroladores ou outros circuitos elétricos que operem dentro das faixas de tensões e correntes especificadas.



*Figura 2.12 - Conversor MT3608
Fonte: <https://www.makerhero.com>*

A principal e crucial diferença deste conversor de tensão para os demais, é sua capacidade de ajustar a tensão de saída para mais (Step Up) do que a tensão de entrada.

Tabela 2.5 - Especificações do MT36650 Fonte Autor

Especificações do MT3608	
Tensão de entrada	2v – 24v DC
Tensão de saída ajustável	2,5v – 28v DC
Regulação de carga	± 0,5 %
Eficiência	91 %
Corrente (máx)	2A
Dimensões	37mm x 17mm x 6 mm
Peso	5g

2.6.6 Bateria 18650 Li-ion

A bateria 18650 Li-ion é um dispositivo capaz de fornecer energia a circuitos e dispositivos de baixa tensão, ela é empregada em equipamentos portáteis e sistemas que requerem uma fonte recarregável de energia moderada, como controles remotos, câmeras, brinquedos eletrônicos e sistemas de automação, ela atende a projetos que demandam uma fonte recarregável para operação contínua.



Figura 2.13 - Bateria 18650 Li-ion Fonte: <https://www.makerhero.com>

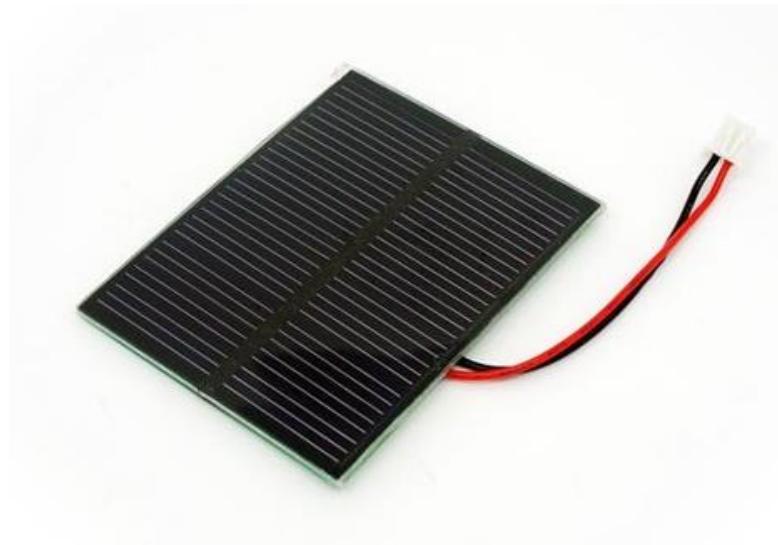
A bateria 18650 Li-ion, destaca-se pela alta capacidade, desempenho estável e dimensões padronizadas, permitindo sua integração versátil em projetos variados. Esta bateria é conhecida por sua longa vida útil e sua capacidade de manter uma tensão estável durante seu ciclo de carga

Tabela 2.6 - Especificações da Bateria 18650 Li-ion Fonte Autor

Especificações da bateria 18650	
Modelo	18650
Tipo	Li-ion
Tensão	3,7 v
Capacidade	3800 mAh
Dimensões	18 mm x 65 mm
Peso	45g

2.6.7 Mini Painel Solar

O Mini Painel Sola é utilizado para a geração de energia sustentável por meio da luz do sol, é um dispositivo utilizado no desenvolvimento de projetos eletrônicos para a obtenção de energia e aperfeiçoamento da geração de energia renovável. Comumente empregado para auxiliar projectistas na criação de protótipos que depois de estudados e aprovados podem ser utilizados em projetos reais, também é utilizado para a alimentação autônoma de robôs, já que alguns modelos podem ser utilizados para recarregar baterias e pilhas ou alimentar projetos de baixo consumo.



*Figura 2.14 - Mini Painel Solar
Fonte: <https://www.electronicasystem.com.br/>*

O Mini Painel Solar possibilita a ligação em série ou em paralelo com outros painéis para gerar uma tensão ou corrente maior, dependendo da organização de como os mesmos serão montados e ligados electricamente. Ele é um equipamento que emprega grande tecnologia e praticidade para projetistas que desejam fazer projetos para feiras de ciências, estudos da faculdade ou até mesmo para o seu dia-a-dia, mostrando-se um excelente equipamento para a aprendizagem de meios sustentáveis de energia. Para utilizá-lo, basta ligar os fios diretamente na saída positiva e negativa do painel, expor à luz solar e estará pronto para utilização.

Tabela 2.7 - Especificações do Painel Solar Fonte Autor

Especificações do Painel Solar	
Modelo	CNC145x145-6
Tensão	6 v
Potência (máx)	3 w
Corrente (máx)	500 mA
Dimensões	145 mm x 145 mm x 3 mm

2.6.8 Controlador de carga TP4056

O **TP4056** é um controlador de carga utilizado para carregar baterias de **íon de lítio (Li-Ion)** ou **polímero de lítio (Li-Po)**. Ele é amplamente utilizado em circuitos eletrônicos portáteis, que utilizam placas como ESP8266, ESP32, Raspberry Pi Pico e Arduino.

O módulo TP4056 possui dois LEDs de status (LED1 e LED2), que funcionam da seguinte maneira: quando o LED1 está aceso e LED2 apagado, a bateria está em processo de carregamento; quando o LED1 está apagado e LED2 aceso, a carga da bateria está completa; quando o LED1 está piscando e LED2 aceso, a bateria não está conectada.

No módulo TP4056 também consta um resistor de programação (R3) que permite ajustar a corrente de carga. Dependendo do valor deste resistor, a corrente de carga fornecida será diferente.

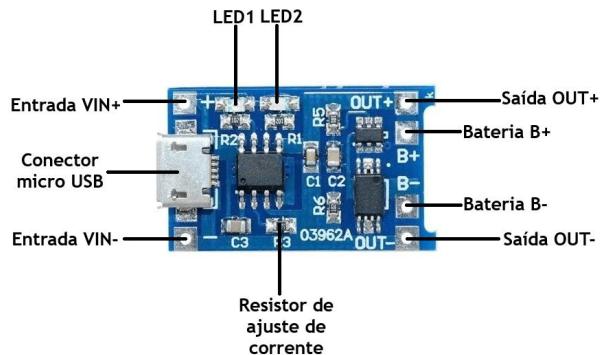


Figura 2.15 - Controlador de carga TP4056 Fonte: <https://www.makerhero.com>

O processo de carga normalmente ocorre em duas fases:

Fase de Corrente Constante: Nesta fase, o carregador fornece uma corrente constante à bateria até atingir a tensão de carga máxima permitida

Fase de Tensão Constante: Depois de atingir a tensão de carga máxima, o carregador mantém a tensão constante enquanto a corrente diminui gradualmente até que a bateria esteja completamente carregada.

Tabela 2.8 - Especificações do TP4056 Fonte: Autor

Especificações do TP4056	
Tensão de entrada	3.35v – 6v DC
Capacidade de corte de carga	4.2V +/- 1%
Proteção	Contra sobrecarga
Temperatura de operação	-10°C - 85°C
Corrente (máx)	1A
Dimensões	26 mm x 17 mm x 5 mm
Peso	3g

CAPÍTULO III: DISCUSSÃO DO TEMA

3.1 Apresentação da Arquitectura proposta

De modo a melhorar o monitoramento ambiental na região da Muxima no Parque da Quiçama fez-se um estudo geral e constatou-se que o Parque da Quiçama é desprovido de meios automáticos para o monitoramento e preservação da biodiversidade do parque, que o acaba muitas vezes por ser prejudicial ao parque levando a ser alvo de actividades ilegais tais como incêndios florestais, desmatamento e caça furtiva. Além de ser muito dispendioso a nível financeiro e a nível de recursos humanos, devido a custos associados a mão de obra para cobrir o monitoramento da área do parque e construção de torres de vigia.

Refletindo sobre os diferentes sistemas existentes no mercado nacional e internacional, podemos verificar a escassez de sistemas automático de monitoramento ambiental. Deste modo a arquitectura proposta neste trabalho visa permitir a colecta eficiente de variáveis ambientais por meio de uma Rede de Sensores Sem Fio, para preservação da biodiversidade na região da Muxima no Parque da Quiçama, usando a tecnologia LoRa.

3.2 Diagrama em Bloco

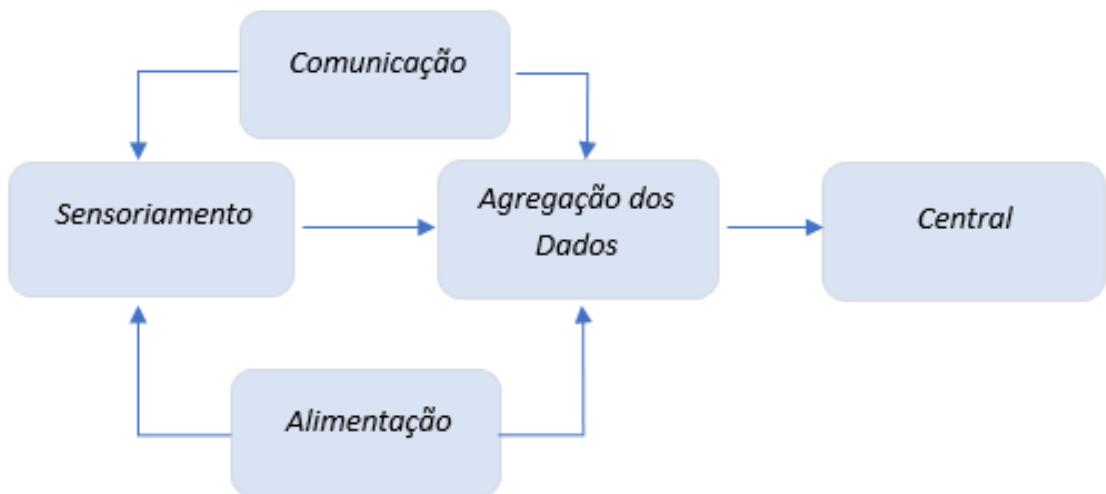


Figura 3.1 - Diagrama em bloco Fonte: Autor

3.2.2 Bloco de Comunicação

O bloco de comunicação é responsável por interligar os nós da Rede de Sensores Sem Fio, permite o fluxo de dados dos dispositivos finais até à Central de dados. Está composto por um transceptor de rádio sem fio, especificamente um módulo LoRa usado para comunicação de longo alcance e baixo consumo energético.

3.2.2 Bloco de Alimentação

O bloco de alimentação é o responsável por fornecer autonomia aos nós da rede, com a excepção da Central de dados, que é alimentado por meio da rede eléctrica. Está composto por uma bateria recarregável de 3,7v, um painel solar de 6v, acoplado a um controlador de carga, com o objetivo de carregar a bateria em ciclos de descarga e prolongar a vida útil da bateria e um conversor DC Setp Up para fornecer energia estável para os nós da rede.

3.2.1 Bloco de Sensoriamento

O bloco de sensoriamento é responsável por coletar as variações de temperatura, umidade relativa do ar e detecção de níveis de fumaça e enviar para o bloco de roteamento por meio da tecnologia LoRa. Este bloco está composto por sensores de temperatura, umidade, fumaça e um microcontrolador para um pré-processamento dos dados coletados.

3.2.2 Bloco de Agregação

O bloco de agregação dos dados é responsável por receber e enviar todas as informações do bloco de sensoriamento para o bloco Central de dados, permite o tráfego de informações em longas distâncias. Este bloco está composto por dois Gateways LoRaWan

3.2.2 Bloco Central de Dados

O bloco Central de Dados é responsável por receber as informações do bloco de agregação, processar e enviar, via MQTT, para o servidor de aplicação, num dashboard para análise e visualização. Também compete a este bloco, gerenciar a rede e estabelecer conexões seguras. O bloco Central de Dados está composta por um servidor de rede e de aplicação.

3.4 Esquema Eléctrico

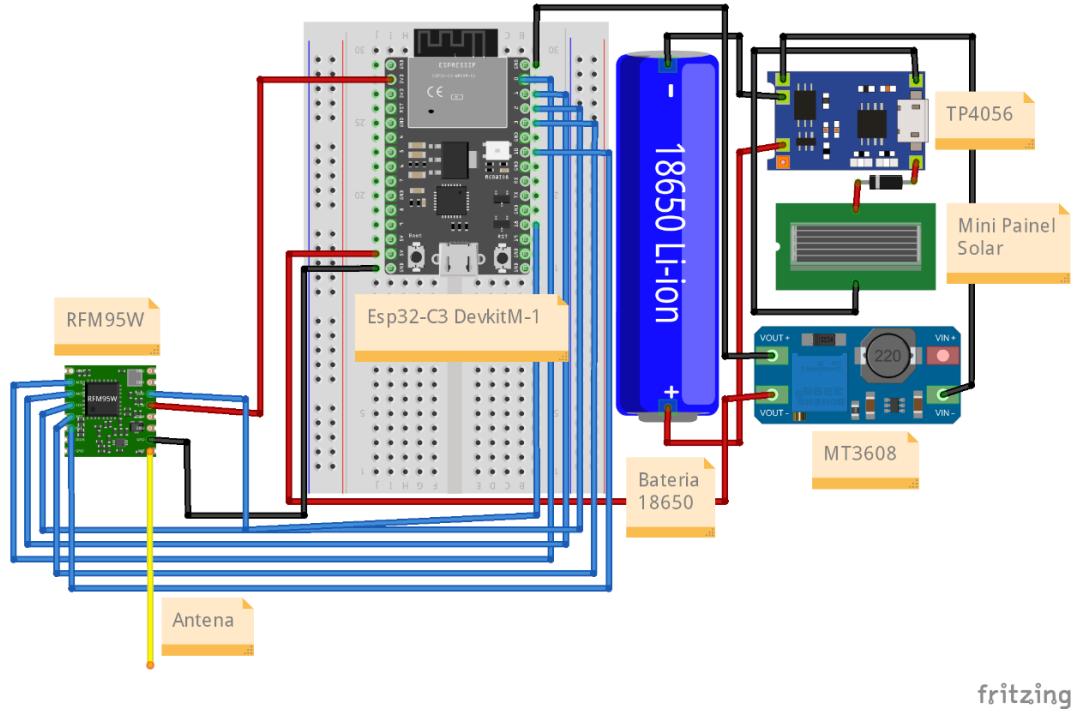


Figura 3.2 - Esquema Eléctrico – Gateway Fonte: Autor

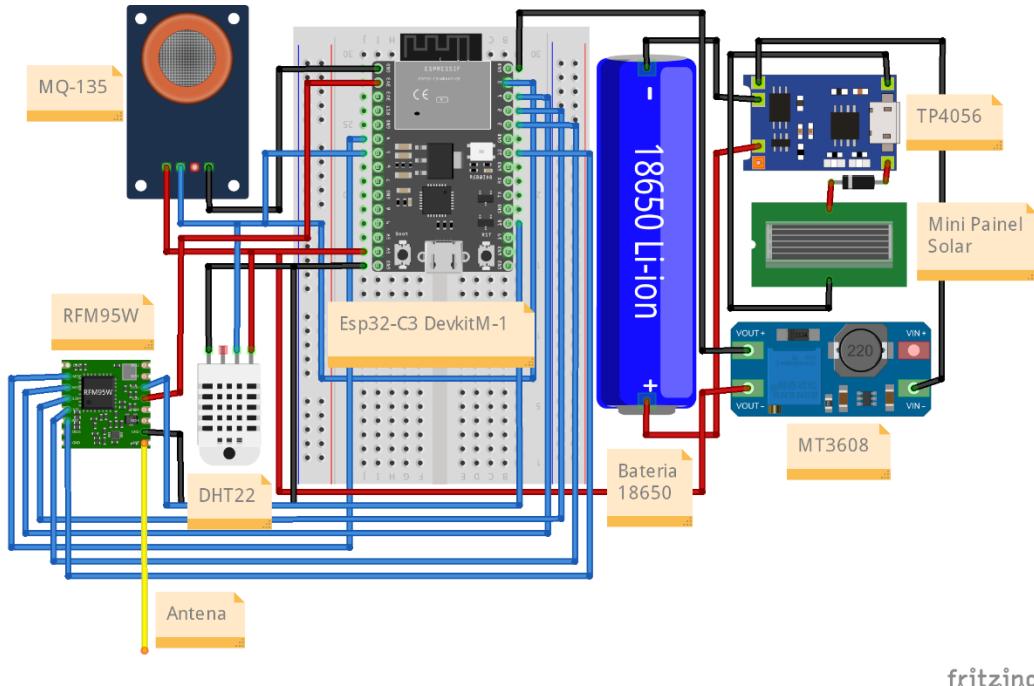


Figura 3.3 - Esquema Eléctrico – Nô Sensor Fonte: Autor

3.5 Princípio de funcionamento da rede

A Rede de Sensores Sem Fio proposta é caracterizada como uma rede de capacidade plana, composição homogênea, mobilidade estacionária, densidade esparsa, distribuição irregular e sensoriamento periódico para o monitoramento ambiental eficiente do PNQ na região da Muxima. A figura a seguir apresenta um fluxo de sequências que espelha o funcionamento da rede proposta.

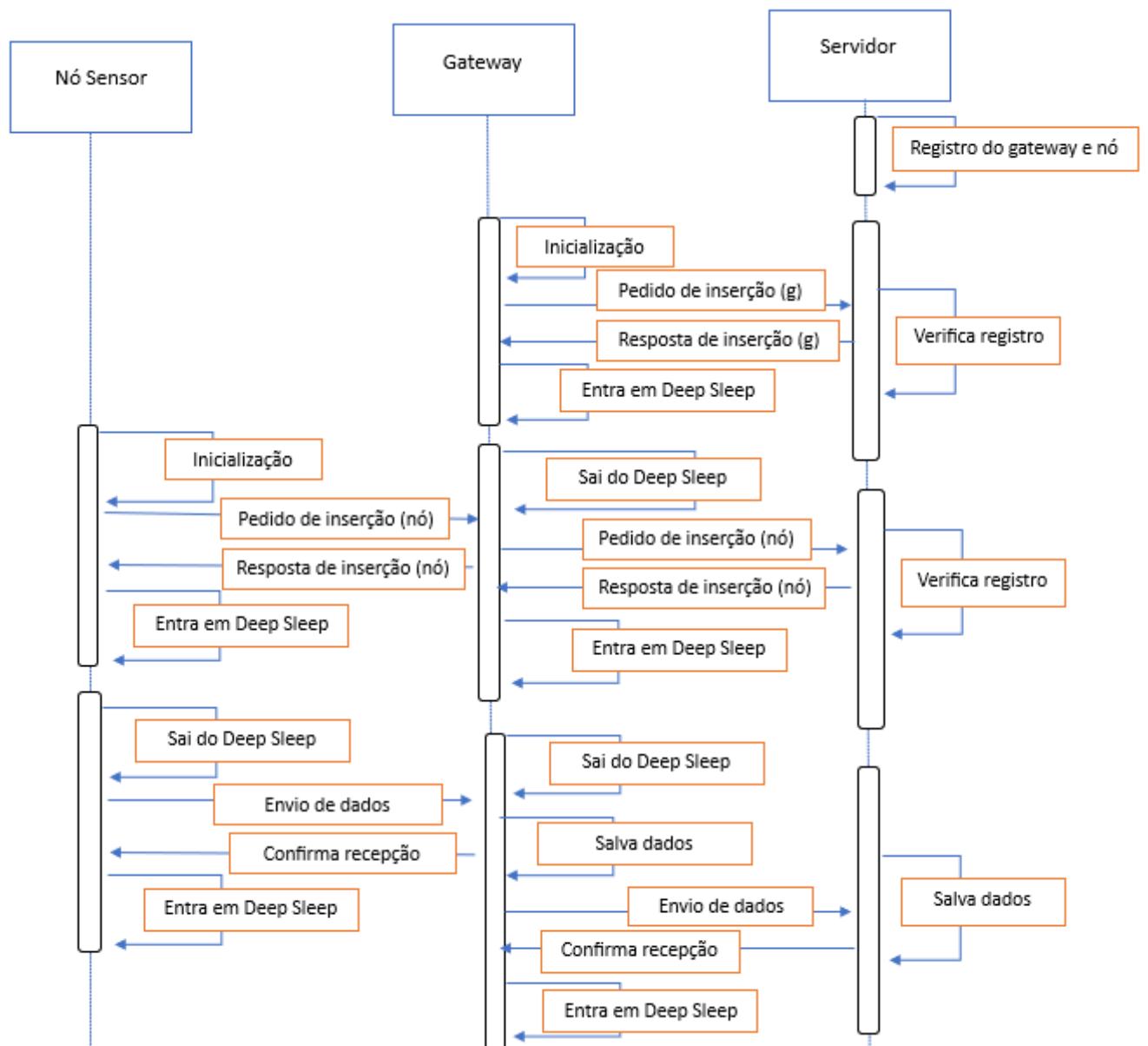


Figura 3.4 - Diagrama de sequências Fonte: Autor

3.6 Modelagem, Simulação e Avaliação da Rede Proposta

Neste capítulo, é apresentada a modelagem e simulação arquitectura da Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) proposta, utilizando o simulador CupCarbon, por sua capacidade de simular redes urbanas e rurais com suporte à tecnologia LoRa. A modelagem tem como objectivo avaliar o comportamento da rede em condições similares àquelas encontradas na região do parque. São descritos os principais parâmetros de configuração adotados, como números de nós, topologia, e protocolos usados. Em seguida, são realizadas as simulações para avaliar as métricas de desempenho relevantes para a aplicação, incluindo consumo energético e área de cobertura. Os resultados obtidos são analisados de forma a validar o projecto da rede e identificar possíveis pontos de melhorias para garantir o funcionamento eficiente e robusto da do sistema proposto.

3.6.1 Modelagem e Simulação da rede

A modelagem e a simulação conta com os aspectos técnicos já mencionados nos capítulos anteriores e foram definidos os seguintes parâmetros:

Tabela 3.1 - Parâmetros de Simulação Fonte: Autor

Parâmetros da Simulação	
Alcance da comunicação	~ 10 km
Frequência de amostragem	1/10 min
Tempo de Simulação	24hs
Duty cycle estimado	1%
Factor de espalhamento	10

Cada nó sensor foi modelado como uma unidade capaz de gerar eventos periódicos (leituras dos sensores) e transmiti-los para o gateway mais próximo. O consumo energético

foi representado com base nos modos de operação do ESP32-C3 e dos sensores, distinguindo entre os estados ativo, transmissão e sleep.

Os gateways foram modelados com função de agregadores e retransmissores, e a central de dados foi modelada como um ponto fixo de colecta. A localização geográfica dos nós foi baseada em um mapeamento simplificado da região da Muxima.

A comunicação foi baseada em transmissões LoRa ponto-a-ponto, com os sensores enviando dados diretamente para os gateways, que por sua vez os repassam à central de dados. Não foi implementado LoRaWAN completo, mas sim um modelo simplificado com foco na colecta e entrega eficiente.

A utilização de duty cycle foi essencial para reduzir o consumo energético dos sensores. Durante o tempo de sleep, os sensores desligam quase completamente seus circuitos, mantendo apenas o RTC (Relógio de Tempo Real) activo para acordar em intervalos definidos.

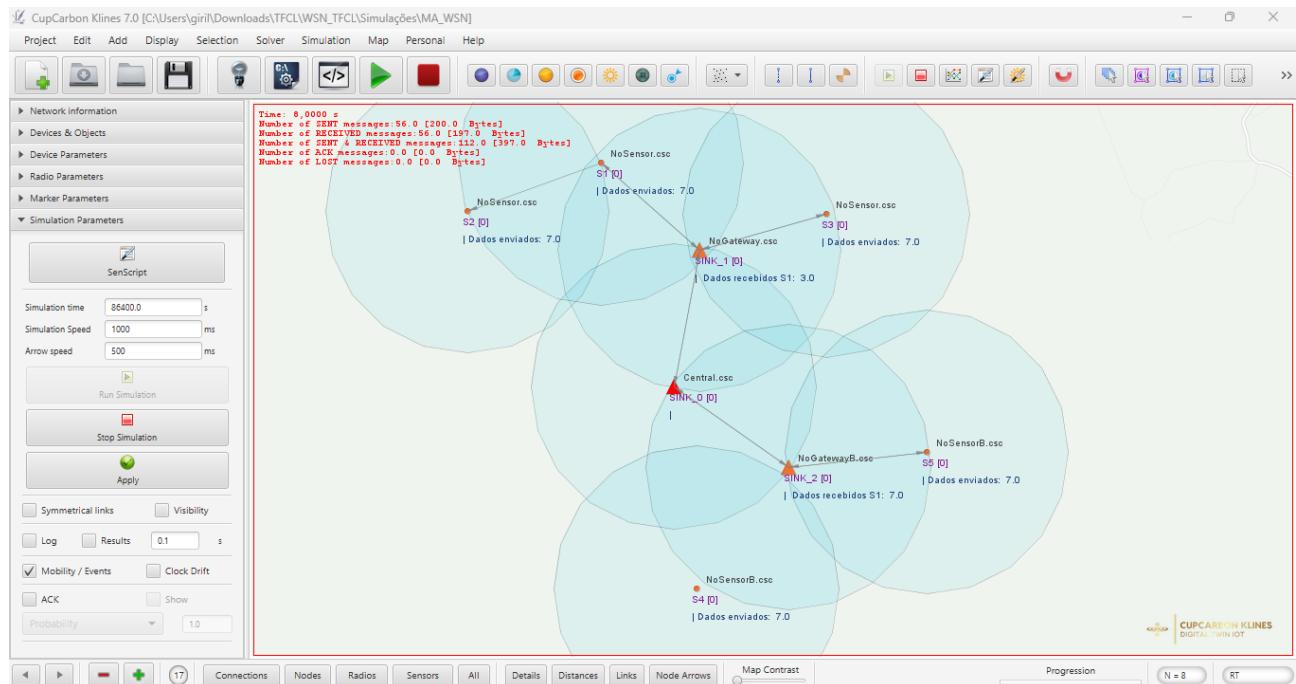


Figura 3.5 - Rede Simulada no CupCarbon Fonte: Autor

3.6.2 Métricas de desempenho da rede.

3.6.2.1 Cobertura da área

A cobertura da área de uma RSSF constitui um parâmetro crucial, pois permite estimar o quanto de área total é efetivamente monitorada pelos nos sensores. Este projecto prevê o uso de sensores ambientais (temperatura, umidade e concentração de fumaça) que não possuem alcance de sensoriamento circular fixo, ou seja, medem variáveis ambientais no ponto exato onde estão instalados, neste caso a cobertura da área é baseada na densidade espacial dos sensores e da distância ideal entre os nós.

Desta maneira foi usada a seguinte fórmula para calcular a o número de nós sensores adequados para monitorar com eficiência a área pretendida que conta com uma área de 408,15 Km^2 :

$$N = \frac{A_{total}}{d^2} \quad (1.1)$$

Onde: N – Nº de nós sensores, A_{total} - Área monitorada total; d – Distância entre os nós sensores (valor estimado).

Tabela 3.2 - Cobertura da área Fonte: Autor

$A_{total} (Km^2)$	$d (km)$	N
408,15	0,5	1633
408,15	5	17
408,15	10	5
408,15	15	2

É importante mencionar que como as variáveis monitoradas possuem um índice de variação baixa, seria possível fazer um monitoramento eficiente da região mesmo adoptando o posicionamento espaçado dos nós sensores.

3.6.1.2 Vida útil da rede

A vida útil da rede em uma RSSF permite estimar quanto tempo os nós sensores conseguirão operar antes que a rede deixe de funcionar conforme seu objectivo. Este parâmetro está intrinsecamente ligado ao consumo energético dos nos sensores, de tal forma que os dois serão abordados neste tópico. A frequência de transmissão, distância até o destino, algoritmo de roteamento e tipos de sensores de processamento local influênciam na vida útil da rede.

Para calcular a vida útil da rede, levamos em conta o ciclo de operação dos nós, consumo médio e a capacidade de bateria. Sabendo que cada nó, no modo activo consome uma corrente de aproximadamente ~ 290 mA e dormindo (sleep mode) $\sim 0,05$ mA. Considerando um período de envio de dados 10 min/vez, com 5s activo e 595 s dormindo (sleep mode). Usando as seguintes fórmulas:

$$I_{med} = \frac{I_{activo} \times t_{activo} + I_{sleep} \times t_{sleep}}{t_{ciclo}} \quad (2.1)$$

$$T_{vida} = \frac{E_{bat}}{P_{med}} \quad (2.4)$$

$$E_{bat} = C_{bat} \times I_{bat} \quad (2.2)$$

$$E_{solar} = V_{solar} \times I_{solar} \times t_{solar} \quad (2.5)$$

$$P_{med} = C_{bat} \times I_{med} \quad (2.3)$$

Onde: I_{med} - Corrente média; E_{bat} – Energia da bateria; C_{bat} – Capacidade da bateria; P_{med} – Potência média consumida; T_{vida} – Tempo de vida útil

Tendo em conta que a capacidade da bateria é de 3,7 V e a corrente de 2600 mAh, podemos obter uma energia da bateria de 9,62 Wh, o que corresponde a 34,632 J, Potência média de 9,14 mW, resultando num tempo de vida de 3.789.824s o que corresponde a 1.052 h, ou seja a rede tem uma autonomia de 43,8 dias, isso sem contar com a recarga do Painel Solar.

Quando refazemos os cálculos incluindo a recarga do painel solar considerando uma tensão de 6v, corrente de 500 mA e 3h mínimas de exposição ao sol, resulta em 9 Wh, isso é quase igual ao consumo diário estimado do nó, então o sistema pode teoricamente operar indefinidamente se o painel receber boa radiação solar.

3.7 Plataforma de Visualização dos dados

A plataforma de visualização de dados escolhida para esse projeto foi o Node-Red, uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxo para programação visual, que actua sobre a camada de aplicação. Essa ferramenta foi desenvolvida para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online de forma criativa e fácil.

O Node-Red permite programar aplicações conectando blocos visuais chamados “nós” através de uma interface gráfica na web, sem necessidade de escrever grandes quantidades de códigos. A ferramenta pode ser acessada via navegador, possui uma interface drag-and-drop, permite arrastar nós para um espaço de trabalho e os conectar com linhas, definido o caminho de dados. Existem diferentes tipos de nós e cada um tem uma funcionalidade específica, neste projecto usamos o nó de entrada para leitura dos sensores, saída para enviar dados para um dashboard, broker mqtt para gerenciar a comunicação entre os sensores e os dashboard.

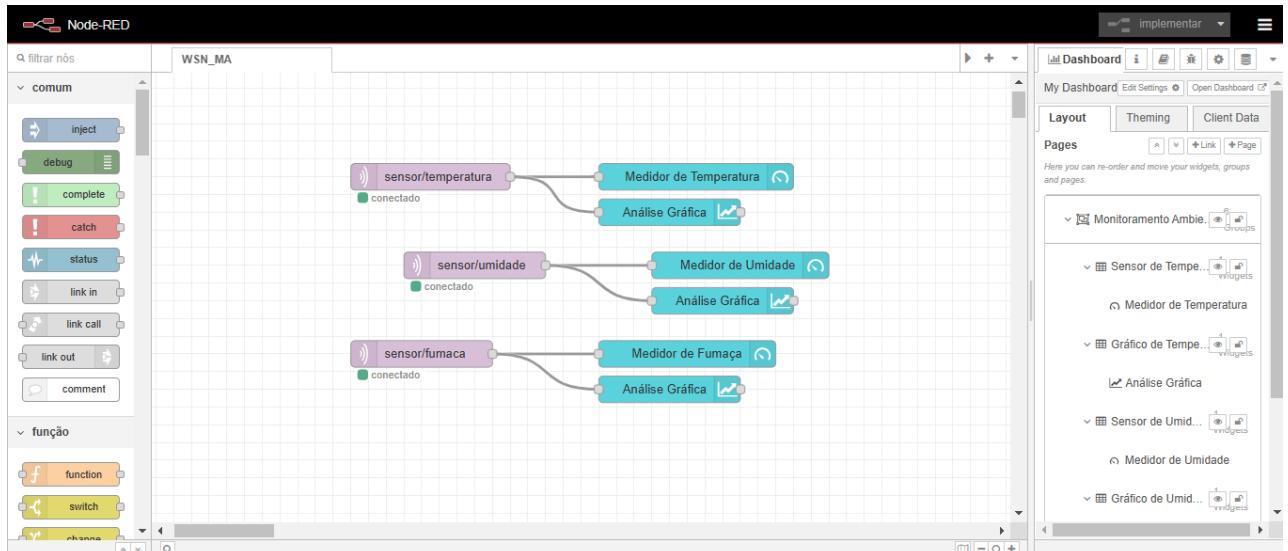


Figura 3.6 - Ambiente de desenvolvimento Node-Red
Fonte: Autor

Para a criação do dashboard usamos uma interface denominada Dashboard 2.0, por conter funcionalidades mais avançadas, personalização e uma estética mais atraente.

Com o Dashboard criado podemos fazer a análise e visualização dos dados. Os dados são utilizados pelos administradores do parque, para monitorar variáveis ambientais em

tempo oportuno e obter informações mais abrangente sobre a situação do parque e assim tomar melhores decisões para o monitoramento eficiente do parque.

Na figura a seguir, podemos constatar exemplos de dados colectados e enviados ao servidor de aplicação.

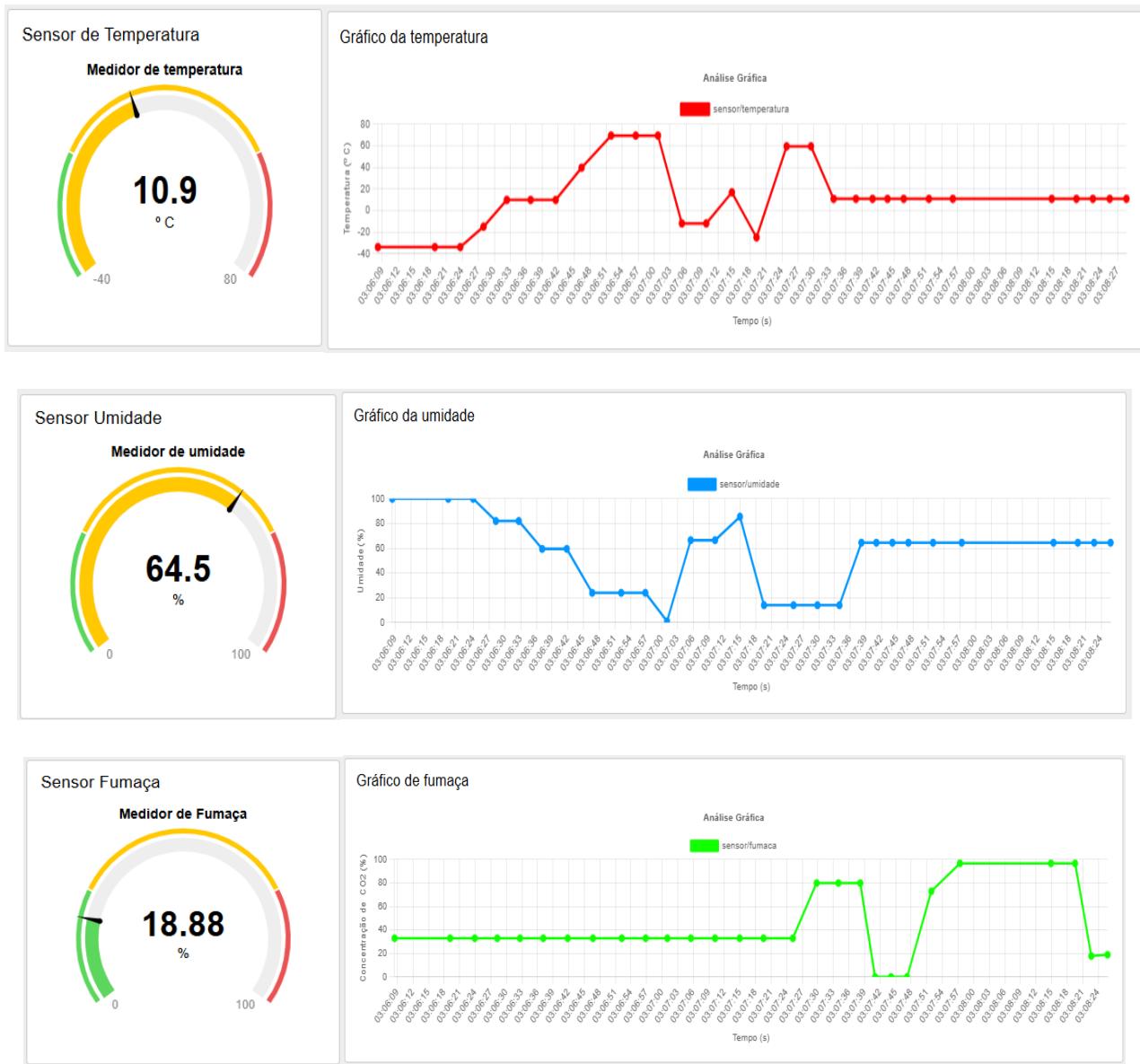


Figura 3.7 - Exemplo de visualização dos dados
Fonte: Autor

3.8 Custos e benefícios do projecto

3.8.1 Custo do projecto

De acordo com a proposta apresentada, baseando-se nos matérias utilizados foi feita uma estimativa do investimento necessário para produção de duas células da rede. Nesta estimativa não foram incluídas, gastos relacionados a equipamentos gerais, computador (servidor), nem gastos com condutores ou placas de ensaio.

Tabela 3.3 - Estimativa de custos com materiais Fonte: Autor

Equipamentos	Quantidades	Custo Unitário (USD)	Custo Total (USD)
ESP32-C3-DevkitM-1	7	8,39	58,73
DHT22	5	1,58	7,9
MQ-135	5	1,21	6,05
Mini Painel Solar	7	12,03	84,21
MT3608	7	1,35	9,45
TP4056	7	1,89	13,23
Bateria Li-ion	7	4,56	31,92
RFM95W + Antena	7	12,07	84,49
Total (USD)		295,98	
Total (AOA)		272.000	

3.8.2 Benefícios do projecto

A implementação da rede proposta apresentada diversos benefícios, pelo facto de que as informações sobre variáveis ambientais serão colectadas, enviadas e visualizadas automaticamente por meio de uma tecnologia bastante eficiente e segura, reduzindo assim o esforço humano. Os benefícios da proposta não estão centrados apenas na proteção da

biodiversidade do parque, mas também albergam benefícios socioeconómicos para as comunidades locais, promovendo a sustentabilidade, emprego, educação ambiental e o turismo.

O projecto vai permitir um monitoramento precoce de condições ambientais que resulta na detecção de riscos de incêndios florestais, ajudando a proteger as espécies animais e vegetais em perigo de extinção bem como a preservação de ecossistemas e manutenção do equilíbrio ecológico e a resiliência ambiental. O uso dos dados colectados por sensores oferece informações valiosas para pesquisadores ambientais, contribuído para estudos de longo prazo sobre o impacto de incêndios na biodiversidade e no clima.

De forma ampla, esse projecto também gera benefícios sociais significativos, como a prevenção de desastres naturais, redução de danos econômicos, fortalecimento da gestão do parque, maior eficiência nas respostas emergenciais e apoio à mitigação das mudanças climáticas, já que menos incêndios significam menor emissão de gases de efeito estufa. Além disso, promove o turismo sustentável e engaja as comunidades locais em práticas conscientes e responsáveis, reforçando o papel da conservação ambiental como vector de desenvolvimento sustentável para a região.

CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou a viabilidade técnica e ambiental da utilização de RSSF para o monitoramento ambiental, com foco na detecção precoce de incêndios florestais. A partir da análise das necessidades locais, como a ausência de infraestrutura tecnológica no Parque da Quiçama, foi possível propor uma arquitetura de rede adequada às condições da região, garantindo cobertura eficiente e operação autônoma.

Foram definidos os principais parâmetros ambientais a serem monitorados (temperatura, umidade e concentração de fumaça) e selecionados sensores e dispositivos de comunicação de baixo consumo energético. A topologia proposta mostrou-se eficiente, permitindo a ampliação da rede e a manutenção de conectividade mesmo em áreas remotas, sem acesso à rede elétrica convencional. As estimativas de consumo energético indicaram que o uso de painéis solares e baterias recarregáveis possibilita a operação contínua dos nós sensores por longos períodos, reduzindo a necessidade de manutenção. Além disso, a arquitetura proposta permite sua expansão conforme evoluam as necessidades de monitoramento.

Do ponto de vista técnico, a solução apresentou um equilíbrio entre baixo custo, simplicidade de implementação e confiabilidade na coleta de dados. Do ponto de vista ambiental e social, a aplicação da tecnologia tem potencial para fortalecer os esforços de conservação no Parque da Quiçama, fornecendo dados relevantes para a atuação de gestores, pesquisadores e autoridades ambientais.

Entretanto, algumas limitações foram identificadas. A ausência de testes em campo impediu a validação prática em ambiente real, e as estimativas energéticas e de cobertura foram baseadas em simulações que não contemplam todas as variáveis ambientais. Além disso, a dependência de gateways e de infraestrutura externa para comunicação de longo alcance pode representar um desafio em regiões com conectividade limitada.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos são promissores e abrem caminho para futuras implementações práticas, bem como para aprimoramentos da proposta em estudos posteriores.

RECOMENDAÇÕES

Uma vez concluído o projecto, visando a maximizar e garantir melhor desempenho, segurança e proveito do sistema de Monitoramento Ambiental baseado em Rede de Sensores Sem Fio para prevenção de incêndios florestais são tecidas algumas recomendações. Essas recomendações consistem em boas práticas para os administradores da rede para melhorias futuras, possíveis tornando a arquitetura mais eficiente:

- ✓ **Implementação prática de um protótipo:** implementar um projecto piloto no Parque da Quiçama, para validar em campo os resultados obtidos nas simulações;
- ✓ **Integração com sistemas de análise de dados:** integrar um sistema de análise de dados utilizando inteligência artificial e aprendizado de máquina para prever tendências e identificar padrões ambientais;
- ✓ **Ampliação do escopo de monitoramento:** incorporar novos tipos de sensores, como sensores de solo, de chuva, acústica, pressão atmosférica, movimento, de imagem para fauna e desenvolver aplicativos para visualização pública dos dados;
- ✓ **Integração com uma plataforma de computação em nuvem e banco de dados:** integrar uma plataforma de computação em nuvem e um banco de dados vai permitir armazenamento centralizado e seguro dos dados colectados, acesso remoto e aplicação e manutenção simplificadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, Tiago Couto. *Monitorização ambiental em espaços florestais com rede de sensores sem fios*. Master's Thesis. Universidade da Madeira (Portugal).2010. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/65f0a81d0.2010>.
- COSTA, João Lauro Beserra da. Sistema de coleta de dados por meio de rede de sensores sem fio aplicado ao monitoramento de estruturas na construção civil. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/64497>
- DA SILVA, Marcel, *Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental* [em linha]. Mestre em Engenharia Elétrica. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas.2013.
- DARGIE, Walteneagus e POELLABAUER, Christian. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. John Wiley & Sons. 2010.
- ECKSTEIN, David, KÜNZEL, Vera e SCHÄFER, Laura, 2021. *The Global Climate Risk Index* 2021. Disponível em: <https://bvearmb.do/>
- GAVA, Matheus, 2020. Projeto de Graduação - Matheus Araújo Gava. . 2020.
- GOIS, Diego Assis Siqueira, LIMA, João Paulo Andrade e ORDONEZ, Edward David Moreno, 2015. Segurança em Redes de Sensores sem Fio – Desafios, Tendências e Orientações. . p. 2015. vol. 13.
- GUEDES, Isabella, 2022. Monitoramento ambiental: o que é, para que serve e como é realizado.31 março 2022. Disponível em: <https://meiosustentavel.com.br/monitoramento-ambiental>
- KOCHE, José Carlos. Fundamentos de Metodologia Científica.2016.
- MEDEIROS, Douglas de Farias. Implementação e análise de protocolos de roteamento para redes mesh sem fio LoRa. 2021.
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE. *Plano de Gestão do Parque Nacional da Quiçama*. abril 2020. Luanda, Angola: International Conservation Services & Holísticos, Lda.2020
- ANGOLA. Lei n.º 5/98, de 5 de junho. Lei de Bases da Educação. Diário da República, I Série, n.º 22, 5 jun. 1998.
- NETTO, Guilherme Tomaschewski. Redes de Sensores Sem Fio: Revisão. 2016. Disponível em: <http://netto.ufpel.edu.br/phd/lib/exe/fetch.php?media=survey.pdf>
- PAIM, Renan Trindade, 2017. Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para monitoramento por geolocalização para pecuária: estudo de caso empregando o simulador NS-2. 2017. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/2165>

PEREIRA, Frederico Alcides Marques dos Santos. *Implementação de Rede de Sensores Sem Fios para Monitorização e Controlo de Sistema de Aquaponia*. 2021.

RAMOS, Nilza e JÚNIOR, Ariovaldo. Monitoramento ambiental - Portal Embrapa. *Portal Embra*. 21 fevereiro 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/meio-ambiente/monitoramento-ambiental>

SOUZA, Daiane. Monitoramento ambiental: o que é, como fazer, app, tipos e atividades aplicadas. *Kartado*. 8 abril 2022 Disponível em: <https://kartado.com.br/monitoramento-ambiental>

YAMASHIRO, Fernando Koji e SILVA, Otávio Augusto Paganotti Messias da. Desenvolvimento de uma aplicação utilizando RSSF para a agricultura de precisão. 2021.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-C3-DevKitM-1 Development Board.[S.I.]: Espressif Systems, 2023. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-devkitm-1_user_guide_en.pdf

CUPCARBON. CupCarbon User Guide: Version U-One 5.1. Version 7.1. [S.I.]: CupCarbon, 2021. Disponível em: www.cupcarbon.com.

ANEXOS

Anexo A: Trecho do Código do Nó Sensor

```
#include <Arduino.h>
#include <DHT.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

#define DHT_PIN 4
#define LED_PIN 7
#define MQ135_PIN 0
#define BUZZER_PIN 6
#define DHT_TYPE DHT22

const float TEMP_CRITICA = 50.0;
const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";
const char* mqtt_server =
"test.mosquitto.org";

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();
    setup_wifi();
    client.setServer(mqtt_server, 1883);

    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(DHT_PIN, INPUT);
    pinMode(MQ135_PIN, INPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
}

void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    client.loop();
    float temperature =
    dht.readTemperature();
    float humidity = dht.readHumidity();
    Serial.println("*****");
    if (!isnan(temperature) &&
    !isnan(humidity)) {

        Serial.printf("🌡️ Temperatura:
.%2f°C\n", temperature);
        Serial.printf("💧 Humidade:
.%1f%\n", humidity);
        // Verificar temperatura crítica
        if (temperature >= TEMP_CRITICA) {
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // Acende o LED
            Serial.println("⚠️ Temperatura
crítica! ⚠️");
        } else {
            digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        }
    } else {
        Serial.println("⚠️ Erro ao ler
DHT22!");
    }
    int gasValue = analogRead(MQ135_PIN);
    float gasPercent = (gasValue /
4095.0) * 100.0;
    Serial.printf("🔥 Concentração de
fumaça: %.2f%\n", gasPercent);

    if (gasPercent > 30.0) {
        Serial.println("⚠️ Concentração de
fumaça elevada! ⚠️");
        int melody[] = {261, 293, 329, 349,
392};
        for (int i = 0; i < 5; i++) {
            beep(melody[i], 200);
        }
    }
    publishSensorData(temperature,
humidity, gasPercent);
    Serial.println("*****");
    delay(500);
}
}
```

Anexo B: Protótipo de Nô Sensor

