

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

**NARA TAVARES FERNANDES MORAES**

**REDE LORA: ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UMA REDE DE INTERNET DAS  
COISAS EM UM CENÁRIO FLORESTAL**

**MANAUS-AM**

**2025**

**NARA TAVARES FERNANDES MORAES**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UMA REDE DE INTERNET DAS COISAS EM  
UM CENÁRIO FLORESTAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador(a): Alyson de Jesus dos Santos

**MANAUS-AM**

**2025**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M828r

Moraes, Nara Tavares Fernandes.

Rede LoRa: análise de desempenho de uma rede de Internet das Coisas em um cenário florestal / Nara Tavares Fernandes Moraes. — Manaus, 2025.

33f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2025.

Orientador: Prof.º Alyson de Jesus dos Santos, Dr.

1. Internet das Coisas. 2. LoRa. 3. Monitoramento ambiental. I. Santos, Alyson de Jesus dos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.382

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, marido e filha, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram em cada etapa da minha jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força, sabedoria e serenidade ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador Alyson de Jesus dos Santos, pela orientação incansável, paciência e dedicação em me ajudar a desenvolver este trabalho. Sua expertise foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos meus familiares, em especial meu marido Sebastião Moraes e minha mãe Maria Tavares, por todo o apoio emocional, incentivo e compreensão. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelo companheirismo, troca de ideias e motivação constante. Cada um de vocês contribuiu para a construção de momentos inesquecíveis.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, ajudaram com informações, materiais e experiências que enriqueceram este estudo.

Muito obrigado!

## EPÍGRAFE

*"Devemos acreditar que somos talentosos para algumas coisas, e que essa coisa, a qualquer custo, deve ser alcançada". Marie Curie*

## RESUMO

Este trabalho analisa o desempenho da tecnologia LoRa (Long Range) em redes de Internet das Coisas (IoT) aplicadas a ambientes florestais, com foco na região amazônica. A pesquisa busca compreender os impactos de variáveis ambientais, como temperatura, umidade e densidade da vegetação, na transmissão de dados entre dispositivos IoT. Para isso, foram realizados experimentos em campo, avaliando métricas como alcance do sinal, taxa de perda de pacotes e consumo energético dos dispositivos. Os resultados indicam que as condições climáticas influenciam diretamente a eficiência da comunicação LoRa, afetando a estabilidade da rede e a vida útil dos sensores. A variação de temperatura, por exemplo, pode comprometer a performance dos componentes eletrônicos e reduzir a capacidade das baterias. Além disso, obstáculos naturais, como árvores de grande porte, interferem na propagação do sinal, exigindo ajustes na configuração da rede para melhorar sua confiabilidade e alcance. Diante desses desafios, a pesquisa destaca a importância do desenvolvimento de estratégias adaptativas para otimizar a conectividade em áreas remotas. A implementação de redes IoT eficientes em cenários florestais pode contribuir significativamente para o monitoramento ambiental, auxiliando na conservação da biodiversidade e no gerenciamento sustentável dos recursos naturais. Espera-se que os achados deste estudo sirvam de base para futuras pesquisas e aprimoramentos na aplicação da tecnologia LoRa em ambientes desafiadores.

Palavras-chave: Internet das Coisas; LoRa; Monitoramento Ambiental.

## **ABSTRACT**

This paper analyzes the performance of LoRa (Long Range) technology in Internet of Things (IoT) networks applied to forest environments, focusing on the Amazon region. The research seeks to understand the impacts of environmental variables, such as temperature, humidity, and vegetation density, on data transmission between IoT devices. To this end, field experiments were conducted, evaluating metrics such as signal range, packet loss rate, and device energy consumption. The results indicate that weather conditions directly influence the efficiency of LoRa communication, affecting network stability and sensor lifespan. Temperature variations, for example, can compromise the performance of electronic components and reduce battery capacity. In addition, natural obstacles, such as large trees, interfere with signal propagation, requiring adjustments to the network configuration to improve its reliability and range. Given these challenges, the research highlights the importance of developing adaptive strategies to optimize connectivity in remote areas. The implementation of efficient IoT networks in forest scenarios can significantly contribute to environmental monitoring, aiding in the conservation of biodiversity and the sustainable management of natural resources. The findings of this study are expected to serve as a basis for future research and improvements in the application of LoRa technology in challenging environments.

**Keywords:** Internet of Things; LoRa; Environmental Monitoring.

## Sumário

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Específicos .....	11
1.2 Justificativa .....	12
1.3 Estrutura do Trabalho .....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
2.1. Definição de IoT.....	13
2.2. LoRa .....	14
3. Trabalhos Relacionados.....	17
3.1. Tracking Boats on Amazon Rivers .....	17
3.2. Performance analysis of a Vehicular Ad Hoc network using LoRa technology and IoT devices in Amazon Rivers.....	19
3.3. Rastreabilidade de Barcos nos Rios da Amazônia- Um Estudo de Caso com a Rede LoRa/LoRaWAN .....	20
4. APLICAÇÕES .....	23
4.1. Monitoramento de Biodiversidade .....	23
4.2. Controle de Incêndios Florestais .....	23
4.3 Inundações e Secas Extremas .....	24
4.4 Desafios e Limitações da Implementação da IoT em Florestas .....	25
5. METODOLOGIA .....	26
5.1 Descrição da Área de Estudo .....	26
5.2 Instrumentação e Dispositivos Utilizados.....	27
2.1. Tipos de Sensores e Suas Funções .....	28
2.2. Redes de Comunicação e Dados .....	28
3. Métodos de Coleta e Análise de Dados.....	28

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços nas tecnologias de comunicação e conectividade permitiram a expansão da Internet das Coisas (IoT), especialmente em áreas remotas e de difícil acesso. Nesse caso, a tecnologia LoRa (Long Range) surge como uma solução de baixo custo e eficiência para transmissão de dados em grandes áreas, mesmo em condições adversas.

A implementação de redes de IoT na floresta amazônica apresenta desafios únicos devido à vegetação densa, às condições climáticas adversas e à necessidade de energia sustentável para alimentar os dispositivos. O principal objetivo do estudo foi investigar fatores externos que poderiam dificultar a transmissão de dados entre dispositivos, como umidade, temperatura, obstáculos ambientais e distância entre pontos de comunicação. Além disso, procuramos descrever o poder de transmissão de dados em um ambiente caracterizado por elevado índice pluviométrico e alta umidade, característico da região amazônica.

No contexto ambiental, especialmente em cenários florestais, a IoT desempenha um papel crucial na coleta, análise e transmissão de dados em tempo real, possibilitando um monitoramento mais eficiente dos ecossistemas naturais. Através de sensores distribuídos estrategicamente, é possível obter informações detalhadas sobre temperatura, umidade, qualidade do solo e presença de gases nocivos, contribuindo para uma gestão ambiental mais precisa e sustentável.

Ao integrar dispositivos IoT com tecnologia LoRa no ambiente florestal, espera-se contribuir para o monitoramento ambiental, para a gestão sustentável dos recursos naturais e para a promoção do ruído da pesquisa científica na área. Este projeto pretende também fornecer uma base para a futura implementação de redes IoT em situações semelhantes, promovendo a inovação e a conectividade em áreas distantes.

Portanto, a IoT se apresenta como uma ferramenta poderosa para a conservação e sustentabilidade dos ecossistemas florestais. Seu uso permite uma abordagem mais proativa e eficiente na proteção ambiental, auxiliando na preservação da biodiversidade, na prevenção de desastres naturais e no combate a práticas predatórias. À medida que a tecnologia avança, espera-se que sua aplicação no meio ambiente se torne cada vez mais acessível e eficaz, fortalecendo a relação entre inovação tecnológica e conservação ambiental.

Uma das alternativas para minimizar a falta de infraestrutura de telecomunicações nas cidades da Amazônia é as redes de comunicação de longo alcance, como a tecnologia LoRa (Long Range). Entretanto, estabelecer comunicação de dados em área de floresta possui vários

desafios, variações climáticas, altura dos dispositivos, visada direta e as árvores que podem afetar a propagação do sinal, e a necessidade de manter a energia dos dispositivos em locais remotos. Assim, a ideia básica deste trabalho é proporcionar uma rede de comunicação de dados entre comunidades remotas, desprovidas de um sistema de comunicação de dados ou com um sistema de comunicação de dados precário. Essa rede visa facilitar a troca de informações, melhorar o acesso a serviços essenciais e promover o desenvolvimento local, utilizando a tecnologia LoRa como uma solução viável e de baixo custo para enfrentar os desafios da região.

Assim, é importante avaliar a implementação de uma rede LoRa num cenário real de Floresta, com o intuito de responder às seguintes perguntas: Como seria o funcionamento de uma rede LoRa em ambiente de floresta? Quais são os problemas que podem ser encontrados nessa rede? Como caracterizar os contatos em uma rede LoRa par-a-par? Qual é o alcance? Esses questionamentos estão em aberto e são respondidos neste trabalho.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho de uma rede de Internet das Coisas (IoT) baseada na tecnologia LoRa em um cenário florestal no entorno do Campus Manaus Distrito Industrial - Manaus/AM.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar fatores como alcance do sinal, taxa de perda de pacotes, consumo energético e influência de variáveis ambientais na transmissão dos dados.

Avaliar e verificar a capacidade de transferência de dados nas condições climáticas da Amazônia.

## **1.2 Justificativa**

A escolha desse tema se justifica pela crescente necessidade de tecnologias eficientes para monitoramento ambiental em áreas remotas. As redes LoRa têm sido amplamente estudadas devido ao seu baixo consumo energético e longo alcance, características essenciais para aplicações em cenários florestais. No entanto, a presença de árvores, variações topográficas e condições climáticas adversas podem impactar a qualidade da comunicação, tornando necessário um estudo detalhado sobre seu desempenho. Com o avanço da IoT, a implementação de sensores conectados em florestas pode contribuir para a preservação ambiental, auxiliando na detecção precoce de incêndios, controle da umidade do solo e monitoramento da fauna e flora. Dessa forma, a pesquisa busca fornecer informações relevantes para aprimorar o uso da tecnologia LoRa nesses contextos.

## **1.3 Estrutura do Trabalho**

O trabalho será estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresentará a introdução, contextualizando o tema e destacando sua importância. O segundo capítulo abordará os fundamentos teóricos sobre redes LoRa, IoT e desafios da comunicação sem fio em ambientes naturais. No terceiro capítulo, será descrita a metodologia da pesquisa, incluindo os critérios de avaliação do desempenho da rede e os experimentos realizados. O quarto capítulo apresentará a análise dos resultados, discutindo os impactos das variáveis ambientais na transmissão dos dados. Por fim, o quinto capítulo trará as conclusões do estudo, apontando limitações, sugestões para trabalhos futuros e aplicações potenciais da tecnologia LoRa em cenários florestais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos relacionados à Internet das Coisas (IoT) e à tecnologia LoRa, fornecendo uma compreensão detalhada de suas definições e aplicações. A IoT refere-se à rede de dispositivos conectados que trocam informações e executam funções de forma autônoma. Por sua vez, o LoRa é uma tecnologia de comunicação de longo alcance e baixo consumo energético, amplamente utilizada em soluções IoT. A abordagem de ambos os temas é essencial para entender as inovações tecnológicas e os avanços em automação e conectividade.

### 2.1. Definição de IoT

A Internet das Coisas (IoT) é um conceito que se refere à interconexão de dispositivos e objetos físicos à internet, permitindo que esses itens coletem e compartilhem dados de forma autônoma. Esses dispositivos, que incluem sensores e atuadores, podem ser utilizados em diversas áreas, desde a saúde até a agricultura. No entanto, a implementação da IoT também levanta questões sobre segurança e privacidade que precisam ser abordadas. Portanto, a adoção responsável dessa tecnologia é essencial para garantir seu potencial pleno. (SOUZA et al, 2020.)

A Internet das Coisas é um paradigma que conecta objetos físicos à rede, permitindo a comunicação entre dispositivos e a troca de dados em tempo real. Este conceito não se limita apenas à conectividade, mas também envolve a capacidade de análise de dados gerados por esses dispositivos. As aplicações da IoT são vastas e incluem setores como transporte, saúde e ambientes urbanos. Ao integrar a IoT em processos existentes, as organizações podem otimizar operações e criar novos modelos de negócio. Assim, a IoT representa tanto uma oportunidade quanto uma responsabilidade. (Fernandes et al, 2021).

A Internet das Coisas é uma rede de dispositivos físicos conectados à internet, que pode coletar, processar e trocar dados sem intervenção humana. Este conceito permite a automação de processos em diversas áreas, aumentando a eficiência e a conveniência. No entanto, a IoT também apresenta desafios significativos, incluindo preocupações com a segurança e a privacidade dos dados coletados. A necessidade de protocolos de comunicação padronizados é

fundamental para garantir a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes. MARTINS et al 2019).

## **2.2. LoRa**

LoRa (Long Range) é uma tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo de energia. Baseia-se na modulação Chirp Spread Spectrum (CSS), permitindo a transmissão de dados mesmo em ambientes com alta interferência. Sua principal vantagem é a capacidade de cobrir grandes distâncias, tornando-se ideal para redes de baixa potência. Desenvolvida pela empresa francesa Cycleo e posteriormente adquirida pela Semtech, tornou-se a base do protocolo LoRaWAN. Sua aplicação está focada na Internet das Coisas (IoT), conectando dispositivos com eficiência energética.

A tecnologia LoRa é amplamente utilizada em redes de sensores distribuídos, permitindo a comunicação entre dispositivos sem a necessidade de infraestrutura complexa. Com sua capacidade de atravessar obstáculos e operar em frequências não licenciadas, é uma opção acessível para diversas aplicações. Diferente de tecnologias como Wi-Fi e Bluetooth, que exigem maior consumo de energia, LoRa possibilita transmissões com baterias que duram anos. Isso a torna especialmente útil em cenários onde a substituição frequente de baterias seria inviável. Dessa forma, a tecnologia favorece soluções robustas para monitoramento remoto.

Entre as principais aplicações do LoRa estão as cidades inteligentes, onde sensores monitoram o consumo de energia, água e gás. Além disso, a tecnologia é utilizada no rastreamento de ativos, permitindo que empresas acompanhem seus equipamentos em tempo real. No setor agrícola, sensores conectados via LoRa auxiliam no monitoramento da umidade do solo, temperatura e presença de pragas. Isso melhora a eficiência da produção e reduz custos operacionais. O baixo consumo energético desses sensores permite que operem por longos períodos sem necessidade de manutenção.

No setor da saúde, LoRa é aplicado para monitoramento remoto de pacientes, transmitindo dados vitais para profissionais de saúde. Dispositivos vestíveis conectados à tecnologia garantem acompanhamento constante de condições médicas sem necessidade de visitas frequentes ao hospital. Em logística e transporte, LoRa possibilita o rastreamento de frotas e otimização de rotas em tempo real. Empresas de transporte utilizam a tecnologia para

umentar a eficiência da entrega e reduzir custos operacionais. Assim, LoRa fortalece a conectividade em diversas indústrias com soluções acessíveis e eficazes.

Por fim, a tecnologia LoRa continua evoluindo e expandindo suas aplicações em diversas áreas. Sua combinação de longo alcance e baixo consumo de energia a torna uma solução essencial para a conectividade da Internet das Coisas. À medida que a demanda por redes inteligentes cresce, novas implementações e melhorias no protocolo LoRaWAN surgem. Isso inclui o aprimoramento da segurança, integração com inteligência artificial e expansão para novos mercados. Com isso, LoRa se consolida como uma das principais tecnologias para a comunicação eficiente de dispositivos IoT.

A tecnologia LoRa se destaca como uma solução eficiente para a comunicação em regiões extensas e isoladas, como a Amazônia. Sua capacidade de transmissão de dados por longas distâncias permite conectar comunidades ribeirinhas, aldeias e embarcações, mesmo em áreas sem infraestrutura de comunicação. Esse alcance estendido é essencial para garantir conectividade e facilitar o transporte e a logística em locais remotos, onde outras tecnologias seriam limitadas ou inviáveis.

Outro grande benefício do LoRa é seu baixo consumo de energia, o que possibilita a operação dos dispositivos por longos períodos utilizando apenas baterias. Em regiões remotas da Amazônia, onde o acesso à eletricidade é escasso e a substituição de baterias pode ser um desafio, essa característica torna a tecnologia altamente viável. A eficiência energética do LoRa é um fator crucial para aplicações em redes de sensores e monitoramento em áreas de difícil acesso.

A robustez do LoRa contra interferências também se destaca, graças à sua modulação Chirp Spread Spectrum (CSS), que garante a estabilidade da comunicação mesmo em ambientes com múltiplas fontes de sinal de rádio. Isso é particularmente útil na Amazônia, onde densas florestas e extensas massas d'água podem dificultar a propagação de ondas de rádio. Assim, o LoRa mantém uma conexão confiável em cenários onde outras tecnologias podem falhar.

Além de seu desempenho técnico, o LoRa apresenta um custo relativamente baixo quando comparado a outras soluções de comunicação de longo alcance. Sua implementação acessível o torna uma alternativa viável para projetos em grande escala, especialmente em regiões com recursos financeiros limitados. A ausência da necessidade de infraestrutura

sofisticada contribui para sua adoção em iniciativas que buscam conectar comunidades e embarcações de forma econômica e eficiente.

A tecnologia LoRa (Long Range), desenvolvida pela SEMTECH e regulamentada pela LoRa Alliance, é uma solução de comunicação sem fio do tipo LPWAN (Low Power Wide Area Network), voltada para redes de longo alcance e baixo consumo de energia. Ela utiliza a modulação Chirp Spread Spectrum (CSS) e opera na camada física.

Seus principais parâmetros de configuração são:

- **Frequência da portadora:** A faixa de operação depende do país, com exemplos como 902-928 MHz nos EUA, 863-870 MHz na Europa, 915-928 MHz na Austrália e no Brasil.
- **Fator de Espalhamento (SF):** Determina a duração do chirp e a quantidade de bits transmitidos, com valores de SF entre 7 e 12 (SF7 a SF12), permitindo a criação de canais ortogonais.
- **Largura de banda (BW):** Define a faixa de frequência ocupada pelo sinal, com valores de 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz. Maior largura de banda aumenta a taxa de dados, mas diminui a sensibilidade devido ao ruído.
- **Taxa de código (CR):** Refere-se à correção de erros na transmissão, com valores de 4/5, 4/6, 4/7 e 4/8, proporcionando maior proteção contra perda de dados conforme o valor aumenta.

Enquanto LoRa lida com a camada física (LoRa PHY), **LoRaWAN** é o protocolo que define a arquitetura da rede e os parâmetros de controle de acesso ao meio (MAC) em redes LPWAN.

### **3. Trabalhos Relacionados**

Este capítulo apresenta os principais trabalhos relacionados ao problema tratado neste TCC. Desta forma, são analisadas as características, a relevância do trabalho e a contribuição para o desenvolvimento do trabalho proposto. A análise é fundamentada em identificar e comparar o foco dos trabalhos, a tecnologia, a rede, a arquitetura, o veículo empregado e a abordagem de desenvolvimento dos projetos. Assim, *Tracking Boats on Amazon Rivers*, *Performance analysis of a Vehicular Ad Hoc network using LoRa technology and IoT devices in Amazon Rivers* e *Rastreabilidade de Barcos nos Rios da Amazônia- Um Estudo de Caso com a Rede LoRa/LoRaWAN* são os trabalhos analisados nas próximas seções.

#### **3.1. Tracking Boats on Amazon Rivers**

A região amazônica abriga a maior bacia hidrográfica do planeta, onde os rios desempenham o papel de vias de transporte e as embarcações são fundamentais para o deslocamento de pessoas e mercadorias. Esse sistema fluvial é essencial para conectar grandes centros urbanos, municípios, comunidades ribeirinhas, vilarejos e assentamentos, especialmente em áreas com infraestrutura terrestre limitada. No entanto, desafios como a falta de estrutura dificultam a comunicação e o transporte. Este estudo propõe o desenvolvimento de uma nova plataforma de hardware baseada em um system-in-package (SiP) - iMCP HTLRBL32L, integrado a um módulo GPS, que possibilita a transmissão de dados por meio de uma rede LoRa de longo alcance.

Além disso, foi criado um novo protocolo de comunicação denominado LoRa Protocol Proprietary (LPP), que permite o envio de comandos parametrizáveis entre dispositivos finais. Entre os parâmetros ajustáveis, estão informações como tabela de localização, modulação, roteamento, identificadores de origem e destino (DevEUI) e porta de comunicação. Esse protocolo proporciona maior flexibilidade na configuração e gerenciamento de redes voltadas para a Internet das Coisas (IoT), otimizando a troca de dados.

Os testes realizados com a nova plataforma de hardware demonstraram um alcance significativo na transmissão de dados. No cenário de comunicação entre um dispositivo final e um gateway, foi possível alcançar uma distância máxima de 16.928 km. Já na comunicação

direta entre dispositivos finais, o alcance registrado foi de 12.447 km. Esses resultados evidenciam a eficiência e o potencial da tecnologia para aplicações em áreas remotas.

A solução proposta estabelece uma plataforma confiável para a transmissão de informações de controle, sendo um elemento-chave para garantir a segurança no transporte fluvial na região amazônica. O uso da tecnologia LoRa possibilita a criação de redes de comunicação robustas, capazes de operar em locais de difícil acesso, onde outras formas de conectividade seriam inviáveis ou limitadas.

Com isso, a implementação dessa infraestrutura pode contribuir significativamente para a melhoria da logística e do monitoramento do transporte na Amazônia, proporcionando maior segurança e eficiência no deslocamento de passageiros e mercadorias. O desenvolvimento de soluções inovadoras como essa reforça a importância da tecnologia no aprimoramento da conectividade e da comunicação em regiões isoladas.

A capacidade do LoRa de operar em ambientes adversos já foi comprovada em diversos testes e aplicações no campo. Seja em rios, florestas densas ou áreas costeiras, a tecnologia tem se mostrado confiável e eficaz. Sua aplicação no contexto amazônico possibilita não apenas a melhoria da conectividade, mas também a segurança, o rastreamento e o monitoramento de embarcações. Dessa forma, o LoRa se apresenta como uma solução ideal para enfrentar os desafios logísticos e de comunicação na região, fortalecendo a conectividade e garantindo maior eficiência no transporte fluvial.

A tecnologia LoRa tem se mostrado altamente eficiente em ambientes desafiadores, incluindo áreas móveis e de difícil acesso, como rios, florestas densas e regiões costeiras. Testes e experimentos confirmam sua confiabilidade, superando outras soluções que enfrentam dificuldades para manter uma cobertura estável e de longo alcance nesses cenários.

Essas vantagens tornam o LoRa uma escolha estratégica para a comunicação na Amazônia. Sua capacidade de estabelecer redes sem a necessidade de infraestrutura complexa, aliada ao seu longo alcance e baixo consumo de energia, faz dele a solução ideal para conectar embarcações e comunidades ribeirinhas, mesmo nas áreas mais isoladas.

Dessa forma, a implementação do LoRa na região contribui significativamente para a segurança, o rastreamento e o monitoramento de embarcações. Além disso, a tecnologia oferece

uma alternativa eficiente e acessível para superar os desafios logísticos e de conectividade, promovendo maior integração e desenvolvimento na Amazônia.

### **3.2. Performance analysis of a Vehicular Ad Hoc network using LoRa technology and IoT devices in Amazon Rivers**

A Amazônia é um dos biomas mais ricos em biodiversidade do planeta, abrangendo a maior floresta tropical do mundo e uma extensa variedade de fauna e flora. Além disso, possui a maior bacia hidrográfica global, com mais de 7 mil rios que somam aproximadamente 25 mil quilômetros de vias navegáveis. No entanto, essa riqueza natural contrasta com os baixos índices de desenvolvimento econômico, social e tecnológico da região. No campo da comunicação de dados, muitas áreas da Amazônia carecem de acesso à telefonia e à internet, dificultando a conectividade das comunidades ribeirinhas.

Diante desse desafio, este estudo propõe a implementação de uma rede de Internet das Coisas (IoT) do tipo ponto a ponto, utilizando dispositivos LoRa para transmissão e recepção de dados, tendo os barcos como veículos de comunicação. A pesquisa buscou avaliar a viabilidade dessa tecnologia como alternativa para reduzir o isolamento digital das populações amazônicas.

Para validar a proposta, foram realizados dois experimentos em diferentes cenários. O primeiro, denominado Experimento Indoor, ocorreu em um ambiente fechado, dentro de uma área urbana cercada por mata. Já o segundo, chamado de Experimento Outdoor, foi conduzido no Rio Solimões, na cidade de Tefé-AM, onde um dispositivo LoRa-Transmissor foi instalado em uma embarcação e um LoRa-Receptor foi fixado na residência de um morador ribeirinho.

Os testes demonstraram que a comunicação via IoT é viável mesmo com o barco em movimento a velocidades de 10, 20 e 30 km/h. No cenário de afastamento, a conexão foi mantida por aproximadamente 6 minutos, com um alcance máximo de 1252 metros. Já no cenário de aproximação, o tempo de comunicação foi reduzido para 3 minutos e 45 segundos, e o alcance máximo foi de 1075 metros.

Os resultados indicam que o uso de IoT na comunicação fluvial pode ser uma solução promissora para ampliar o acesso à informação na Amazônia, permitindo uma comunicação

eficiente entre embarcações e comunidades. A pesquisa reforça a importância da inovação tecnológica para reduzir a exclusão digital em regiões isoladas.

### **3.3. Rastreabilidade de Barcos nos Rios da Amazônia- Um Estudo de Caso com a Rede LoRa/LoRaWAN**

O autor fala sobre mobilidade dos barcos nos rios Negro e Rio Amazonas onde foi analisado em termos de três componentes principais: velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção. A partir de dados reais coletados, observou-se: a velocidade: onde a distribuição normal foi a que melhor se ajustou às velocidades dos barcos, tanto para barcos de linha quanto para barcos expressos, seja subindo ou descendo o rio, na aceleração: apresentou melhor ajuste à distribuição normal, com valores médios de  $0,2108 \text{ m/s}^2$  para barcos de linha (descendo) e  $0,1323 \text{ m/s}^2$  (subindo) já em Ângulo de mudança de direção: o ajuste foi mais adequado à distribuição exponencial no caso dos barcos de linha.

Na transferência de dados, os experimentos realizados com redes DTN revelaram que a capacidade de transmissão é influenciada diretamente pela velocidade das embarcações: tempo de contato, dados transferidos e a capacidade de transmissão. Na questão estática, a modelagem dos tempos de contato e da capacidade de transmissão utilizou técnicas de regressão linear. Foi possível determinar relações consistentes entre o tempo de contato e a quantidade de dados recebida, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,8, indicando alta precisão.

Na questão de Impacto da Mobilidade os dados coletados indicam que velocidades mais baixas oferecem melhores condições para aproveitamento dos contatos em redes DTN, devido ao maior tempo de contato. Em contrapartida, é essencial otimizar protocolos de roteamento para aproveitar rapidamente os contatos em cenários de altas velocidades.

Relevância das Redes DTN na Amazônia as redes DTN apresentam grande potencial para conectar regiões remotas da Amazônia, considerando os desafios impostos pela vasta extensão dos rios e pela variabilidade das condições de navegação. A modelagem desenvolvida permite estimar a capacidade de transmissão em diferentes cenários, auxiliando no planejamento de soluções tecnológicas.

### 3.4 Tabela comparativa dos Trabalhos Relacionados

A Tabela 1 apresenta o comparativo dos trabalhos de acordo com os seguintes aspectos: foco, tecnologia, arquitetura, veículo e a abordagem.

Tabela 1 – Trabalhos Relacionados.

<b>Parâmetros</b>	<b>Rodrigues</b> Rodrigues et all.,2025	<b>Santos</b> Santos et all., 2023	<b>Santos</b> Santos et all., 2016	<b>Trabalho proposto</b>
<b>Foco</b>	Área urbana e comunidades remotas	Comunidades remotas	Comunidades remotas	Área urbanas
<b>Tecnologia</b>	SiP HTLRBL32L	LoRa	IEEE 802. 11b/g	LoRa
<b>Arquitetura</b>	Nó final para nó final e nó final para gateway	V2I	V2I/V2V	V2I
<b>Veículo</b>	Barco	Barco	Barcos	Área urbana
<b>Abordagem</b>	Experimental	Experimental	Experimental e simulação	Experimental

Autor Rodrigues et all, usa uma plataforma de hardware que utiliza dois SiPs, um dedicado à transmissão e outro à recepção de dados. Essa escolha não é aleatória, mas sim uma decisão estratégica para otimizar a comunicação e minimizar interferências. Ao separar as funções de envio e recebimento, a plataforma assegura uma melhor qualidade de sinal, reduz a latência e proporciona um controle mais preciso sobre cada etapa do processo de comunicação. Além disso, essa abordagem facilita a implementação de mecanismos de redundância, aumentando a confiabilidade do sistema. Dessa forma, as operações de transmissão e recepção de dados são gerenciadas de maneira eficiente e sem conflitos, destacando a eficácia e a robustez da solução adotada.

A autora Santos et all, tinha como foco do estudo comunidades ribeirinhas, usando uma rede de Internet das Coisas (IoT) par-a-par, formada por um dispositivo LoRa-Transmissor e um dispositivo LoRa Receptor utilizando os barcos como veículos. Sendo seus resultados dos dois experimentos práticos mostram que é viável a transferência de dados com o barco nas velocidades de 10, 20 e 30 km/h, com a distância a 1252 metros e tempo de comunicação de pouco mais de 6 minutos no momento em que vão se afastando. Já no cenário de aproximação

a distância e o tempo de comunicação são reduzidos, respectivamente, a 1075 metros, e 03 minutos e 45 segundos.

O autor Santos et al, seu estudo é realizado em comunidades ribeirinhas usando como veículo o barco, assim como de foi analisado em termos de três componentes principais: velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção, O estudo destaca a importância de caracterizar a mobilidade e otimizar o desempenho de redes DTN em regiões como a Bacia Amazônica. As análises realizadas fornecem subsídios para o desenvolvimento de protocolos e soluções que atendam às demandas de comunicação em cenários hidroviários.

De acordo com os estudos, os trabalhos relacionados trabalham tecnologias diferentes, tendo em vista um objetivo central, onde cada experimento usou o mesmo veículo de análise, que foi o barco, só que cada estudo realizou análise de diferentes pontos de vista.

Este trabalho buscou analisar dentro de um ambiente florestal o desempenho de uma rede LoRa, com diversos sinais de intercorrências, devido ao local escolhido de análise. Com isso buscou entender como é possível usar a tecnologia LoRa em ambiente de difícil acesso.

## **4. APLICAÇÕES**

### **4.1. Monitoramento de Biodiversidade**

A IoT tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o monitoramento da biodiversidade em florestas, permitindo a coleta de dados sobre fauna, flora e mudanças no ecossistema. Sensores conectados podem ser usados para rastrear espécies de animais por meio de sinais de radiofrequência (RFID) e redes LoRa, proporcionando informações em tempo real sobre deslocamento e comportamento da fauna. Além disso, câmeras e microfones inteligentes auxiliam na identificação de espécies por meio de reconhecimento de imagens e sons (KAYS et al., 2015).

A medição de variáveis ambientais, como temperatura, umidade, qualidade do solo e índices de radiação solar, também é essencial para a preservação da biodiversidade. Dispositivos IoT instalados em áreas remotas podem transmitir dados continuamente para cientistas e órgãos ambientais, permitindo a análise de padrões ecológicos. Essas informações auxiliam na compreensão dos impactos das mudanças climáticas e do desmatamento sobre os ecossistemas naturais (PELEGRINI et al., 2019).

Outro benefício da IoT no monitoramento da biodiversidade é a possibilidade de automação na coleta de dados, reduzindo a necessidade de intervenções humanas frequentes em áreas de difícil acesso. Sensores distribuídos estrategicamente podem operar por longos períodos com baixo consumo de energia, garantindo a sustentabilidade das operações. Esse avanço tecnológico tem contribuído para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de conservação e manejo da vida selvagem (ZHANG et al., 2021).

### **4.2. Controle de Incêndios Florestais**

A IoT também tem sido utilizada na prevenção e combate a incêndios florestais, fornecendo informações cruciais para a detecção precoce de focos de fogo. Sensores instalados em diferentes pontos da floresta podem medir a temperatura, umidade relativa do ar e concentração de gases inflamáveis, permitindo identificar condições propícias para incêndios. Esses dados são transmitidos para centrais de monitoramento, possibilitando a tomada de decisões rápidas para evitar a propagação do fogo (FERREIRA et al., 2020).

Além da detecção, a IoT possibilita a automação de sistemas de resposta emergencial, como acionamento remoto de sprinklers e alertas automáticos para brigadas de

incêndio. Drones equipados com câmeras térmicas e sensores de poluentes atmosféricos também podem ser integrados às redes IoT para mapear áreas afetadas e auxiliar no combate às chamas. Essas soluções permitem uma atuação mais eficiente e direcionada, reduzindo os danos ambientais e os custos operacionais (YANG et al., 2021).

A análise preditiva baseada em inteligência artificial e aprendizado de máquina complementa a IoT na gestão de incêndios florestais. Com base nos dados coletados, algoritmos podem prever a evolução dos incêndios e sugerir estratégias de contenção. Dessa forma, a tecnologia contribui significativamente para a preservação dos ecossistemas e a segurança de comunidades próximas às áreas de risco (KONTOS et al., 2018).

### **4.3 Inundações e Secas Extremas**

As tecnologias LoRa (Long Range) têm sido amplamente utilizadas no monitoramento de inundações e secas extremas devido à sua capacidade de transmissão de dados de longo alcance e baixo consumo energético. Sensores IoT equipados com LoRa podem medir níveis de água, umidade do solo e condições meteorológicas em tempo real, permitindo a detecção precoce de eventos extremos. Esses dados são enviados para centrais de monitoramento, possibilitando respostas rápidas das autoridades e comunidades. Além disso, a conectividade LoRa é vantajosa em áreas remotas, onde outras redes de comunicação podem ser limitadas. Isso contribui para a mitigação de desastres naturais e a proteção de populações vulneráveis.

Em cenários de inundações, sensores IoT conectados via LoRa podem monitorar o nível dos rios e reservatórios, alertando sobre riscos de transbordamento. Esses sistemas auxiliam na evacuação antecipada e na gestão de barragens, reduzindo danos materiais e humanos. O uso de inteligência artificial associada aos dados de LoRa melhora a previsão e tomada de decisões. Além disso, a infraestrutura de LoRaWAN pode operar mesmo em condições adversas, garantindo a transmissão contínua de informações. Assim, governos e instituições conseguem atuar preventivamente, evitando tragédias maiores.

Durante períodos de seca extrema, sensores IoT com LoRa são usados para monitorar a umidade do solo e otimizar a irrigação em áreas agrícolas. Isso reduz desperdícios de água e melhora a produtividade agrícola, garantindo a segurança alimentar. A tecnologia também auxilia na detecção de incêndios florestais, monitorando variações de temperatura e umidade. Projetos governamentais e privados têm investido em redes LoRa para a gestão sustentável dos

recursos hídricos. Com isso, as comunidades podem se adaptar melhor às mudanças climáticas, minimizando impactos socioeconômicos.

#### **4.4 Desafios e Limitações da Implementação da IoT em Florestas**

A implementação de redes IoT em ambientes florestais apresenta desafios técnicos e logísticos, sendo a conectividade um dos principais obstáculos. A densa vegetação e a topografia irregular podem afetar a propagação do sinal de comunicação, limitando o alcance e a eficiência das redes sem fio. Tecnologias como LoRa e NB-IoT têm sido testadas para mitigar essas dificuldades, mas a necessidade de uma infraestrutura robusta ainda representa um desafio (CENTENARO et al., 2016).

Outro fator crítico é a autonomia energética dos dispositivos IoT, já que a manutenção frequente de sensores em locais remotos pode ser inviável. O uso de baterias de longa duração e sistemas de energia solar tem sido adotado como solução para aumentar a sustentabilidade dos dispositivos. No entanto, variações climáticas podem impactar a geração de energia, tornando essencial o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes em consumo energético (ZHANG et al., 2021).

Além dos desafios técnicos, questões relacionadas à privacidade e segurança dos dados também precisam ser consideradas. A transmissão contínua de informações ambientais pode ser alvo de ataques cibernéticos, comprometendo a integridade dos sistemas IoT. Medidas como criptografia de dados, autenticação robusta e protocolos de segurança específicos são fundamentais para garantir a confiabilidade das redes implementadas em florestas (SOLDANI et al., 2018).

## 5. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os principais trabalhos relacionados ao problema abordado neste trabalho de TCC, serão abordadas as seguintes seções: descrição da área de estudo, instrumentação e dispositivos utilizados, tipos de sensores e suas funções, redes de comunicação e dados e métodos de coleta e análise de dados.

### 5.1 Descrição da Área de Estudo

A primeira etapa do trabalho foi a escolha do local de estudo. O local ideal para o estudo de caso foi a área verde próxima a Trilha Ecológica Saimiri, situada no campus do IFAM/CMDI, que compreende uma área de 236.700,0 m<sup>2</sup> de floresta protegida.

**Figura 1:** Local do Estudo



fonte: <https://earth.google.com/>

A área de estudo está localizada na cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas. O campus está situado em uma região com vegetação característica da Floresta Amazônica, proporcionando um ambiente ideal para a análise do desempenho da tecnologia LoRa em um cenário florestal. A área conta com espaços abertos e regiões arborizadas, permitindo a observação do impacto dos obstáculos naturais na propagação do sinal.

A escolha desse local se deve à sua representatividade para estudos de conectividade em ambientes naturais, considerando a presença de árvores de grande porte e variações no relevo. Além disso, a infraestrutura do IFAM CMD possibilita suporte técnico e logístico para a instalação dos dispositivos IoT. A proximidade com laboratórios e especialistas na área de tecnologia e meio ambiente favorece a realização de experimentos controlados e a obtenção de dados confiáveis para a pesquisa.

## 5.2 Instrumentação e Dispositivos Utilizados

O experimento utiliza placas de rede LoRa como base para a comunicação dos dispositivos IoT, devido à sua capacidade de transmissão de dados a longas distâncias com baixo consumo de energia. Os dispositivos usados, placa de desenvolvimento LoRa 915Mhz TTGO T-BEAM ESP32 com GPS, suporte para bateria e cartão de memória MMC para armazenamento interno.

**Figura 2: Dispositivo e local de colocação do dispositivo final.**



Os dispositivos de LoRa serão posicionados em pontos estratégicos dentro da área do IFAM CMD para garantir a cobertura necessária, uma distância de 50m em linha reta e 1,5m em relação ao nível do prédio do Polo de Inovação – INOVA/IFAM Além disso, para processamento e análise dos dados coletados pelos sensores.

### **2.1. Tipos de Sensores e Suas Funções**

Os sensores utilizados no estudo serão selecionados com base nas principais variáveis ambientais que podem influenciar o desempenho da rede LoRa. Entre eles, destacam-se sensores de temperatura e umidade relativa do ar, que auxiliam na avaliação das condições climáticas locais e seu impacto na propagação do sinal. Sensores de pressão atmosférica também serão utilizados para verificar possíveis correlações com variações na qualidade da transmissão dos dados.

Além disso, serão empregados sensores de nível de interferência eletromagnética, que ajudarão a identificar eventuais fontes de ruído que possam prejudicar a comunicação LoRa. A combinação desses sensores permitirá uma análise detalhada sobre o desempenho da rede em diferentes condições ambientais. Os dispositivos serão alimentados por baterias recarregáveis e painéis solares para garantir autonomia energética ao longo do experimento.

### **2.2. Redes de Comunicação e Dados**

A comunicação entre os sensores e os servidores será realizada por meio da tecnologia LoRa, que possibilita a conexão de múltiplos dispositivos em uma única infraestrutura de rede. Os dados foram armazenados em cartão de memória adaptado na placa de cartão da rede LoRa.

## **3. Métodos de Coleta e Análise de Dados**

A coleta de dados foi realizada de forma contínua ao longo do período experimental, permitindo a observação do desempenho da rede LoRa em diferentes condições ambientais. O sensor está embutido dentro das placas LoRa colocado em dois pontos estrategicamente na área do IFAM CMDI para garantir cobertura suficiente e diversidade nos dados obtidos. Os registros de transmissão, incluindo perdas de pacotes e latência, serão armazenados para posterior análise e comparação entre diferentes cenários.

Tabela 2 – Parâmetros de configuração da rede LoRa.

Descrição	Valor
Tamanho do pacote	54 (bytes)
Frequência	915 (MHz)
Banda de transmissão	500 (kHz)
Taxa de código	4/5
Fator de espalhamento	7 (bits/s)

### 3.1. Coleta de Dados em Campo

Os valores de referência que orientam a relação entre o RSSI e o SNR nos dispositivos LoRa, levando em conta a qualidade do enlace de rádio, estão representados na Figura 3.

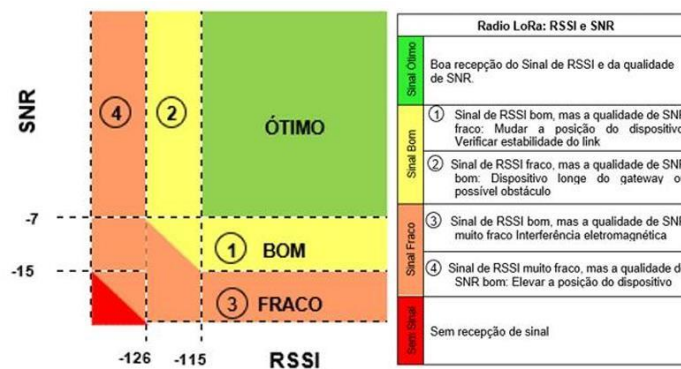


Figura 3. LoRa- RSSI X SNR.

Desempenho da Rede LoRa. Fonte: Adaptado de [76].

Em seguida são apresentados os resultados obtidos por meio da análise dos gráficos de RSSI (Received Signal Strength Indicator) e SNR (Signal-to-Noise Ratio) em comparação com o tempo, durante uma transmissão de dados em uma rede LoRa. Através desses gráficos, é

possível observar a variação desses parâmetros ao longo do tempo e como eles impactam a qualidade da transmissão.

O RSSI, que mede a potência do sinal recebido, e o SNR, que indica a relação entre o sinal desejado e o ruído, são fundamentais para avaliar o desempenho da rede LoRa. A análise desses parâmetros permite uma melhor compreensão da estabilidade e da confiabilidade da comunicação, assim como as condições de propagação do sinal em diferentes intervalos temporais.

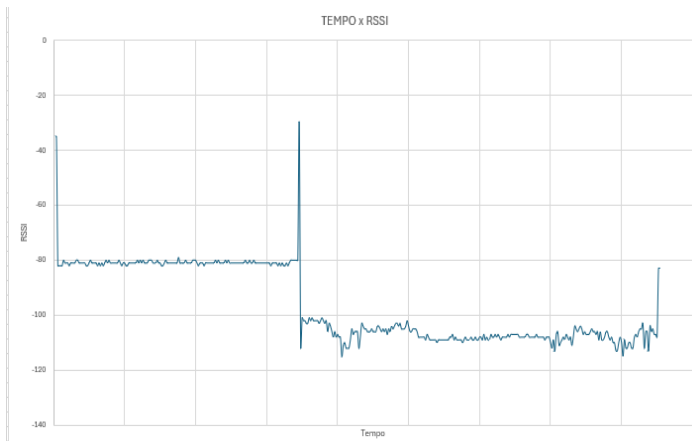


Gráfico 1: RSSI x SNR

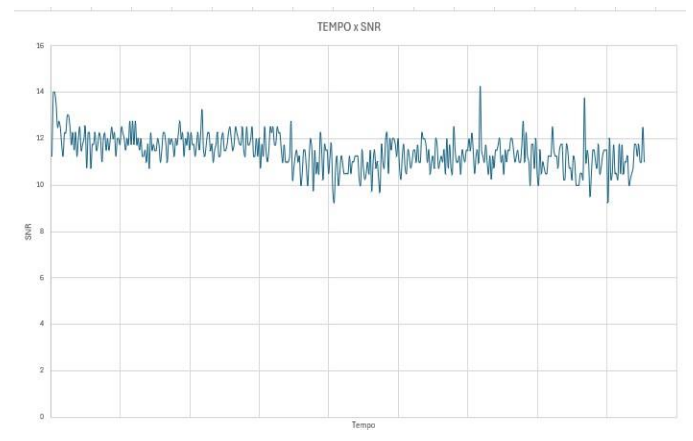


Gráfico 2: RSSI x SNR

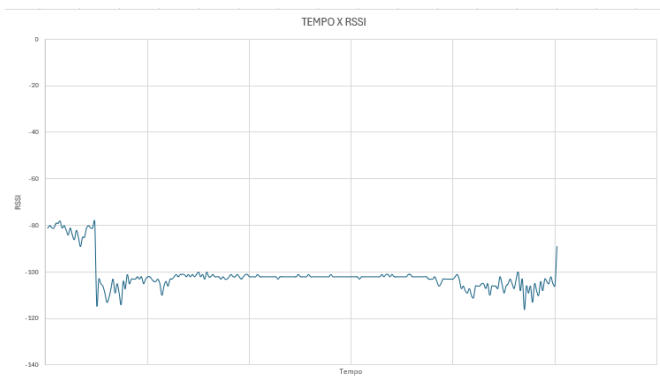


Gráfico 3: RSSI x TIME

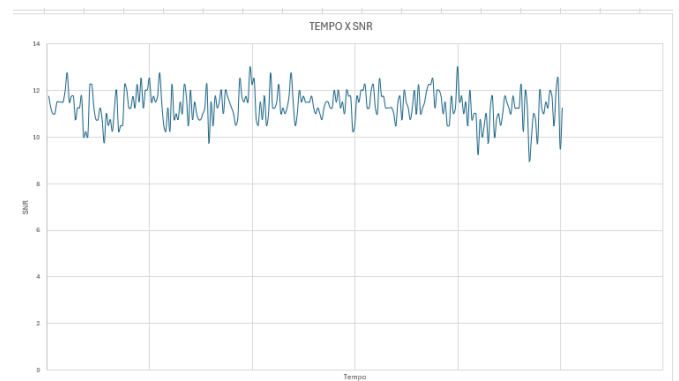


Gráfico 4: RSN x TIME

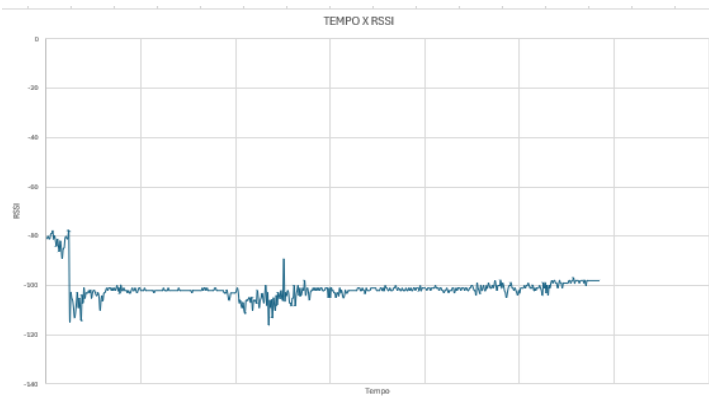


Gráfico 5: RSSI x TIME

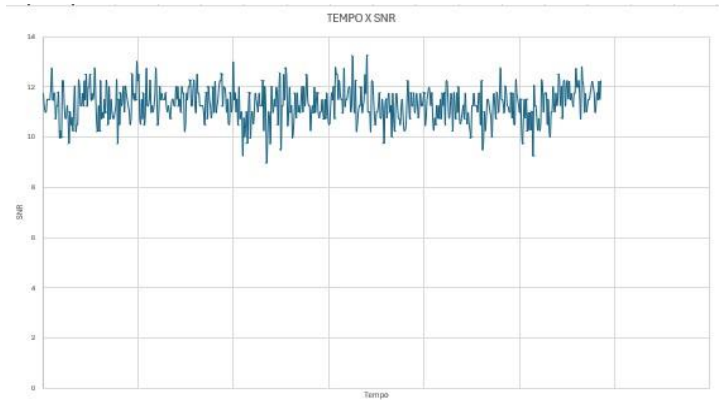


Gráfico 6: SNR x TIME

Nos resultados de RSSI e SNR nos experimentos práticos houve algumas variações significativas. Nos gráficos podemos notar a variação entre o RSSI e SNR em diferentes momentos do tempo, de acordo com a Figura 3, podemos notar que mesmo que o RSSI chegasse a valores negativos extremos o SNR não uma alteração, com isso, podemos afirmar que durante o dia a faixa de transmissão é ótima tanto RSSI quanto o SNR, mas a noite a taxa de transmissão tem uma queda. isso significa que em determinados horários essa variação pode ocorrer, por muitos fatores, que não podemos mensurar.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante os experimentos com sistemas de comunicação LoRa, observou-se que as variações de temperatura podem afetar significativamente a qualidade da transmissão de dados. Temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem alterar a eficiência dos componentes eletrônicos, como antenas e módulos de rádio, interferindo na estabilidade do sinal. Essas mudanças nas condições ambientais podem resultar em perda de pacotes, redução da velocidade de transmissão e até mesmo falhas temporárias na comunicação, comprometendo o desempenho do sistema LoRa em longo prazo.

Outro fator crítico relacionado às mudanças de temperatura é a diminuição da vida útil da bateria nos dispositivos LoRa. A temperatura influencia diretamente as reações químicas que ocorrem dentro das baterias, podendo reduzir sua capacidade de carga e acelerar o processo de degradação. Em ambientes de temperaturas elevadas, as baterias podem descarregar mais rapidamente, enquanto em temperaturas muito baixas, sua eficiência pode ser severamente prejudicada. Como muitos sistemas LoRa são alimentados por baterias de longa duração, esses impactos podem comprometer o funcionamento contínuo das redes sem fio.

As condições de temperatura podem causar falhas na transferência de dados, um problema comum em sistemas de comunicação LoRa. Quando os dispositivos enfrentam temperaturas fora dos parâmetros ideais, a modulação do sinal e a qualidade do canal podem ser afetadas, resultando em taxas de erro elevadas. Esses problemas podem resultar em maior necessidade de retransmissões, o que aumenta o consumo de energia e reduz a eficiência geral do sistema. A confiabilidade da transmissão de dados é crucial em aplicações sensíveis, como monitoramento ambiental e sistemas de IoT, onde a comunicação precisa ser estável e precisa.

Diante dos desafios impostos pelas variações térmicas, o monitoramento e o controle da temperatura tornam-se essenciais para otimizar o desempenho da comunicação LoRa.

Tecnologias como sensores de temperatura e sistemas de gerenciamento térmico podem ser implementadas para garantir que os dispositivos operem dentro de faixas de temperatura ideais. Isso pode ajudar a prolongar a vida útil das baterias e melhorar a qualidade da transmissão de dados, resultando em uma conectividade mais confiável e eficiente, independentemente das condições ambientais. A implementação de soluções adaptativas pode, portanto, garantir que o sistema LoRa funcione de maneira eficaz em diferentes cenários climáticos e operacionais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Durante os experimentos realizados, observou-se que fatores ambientais, como as variações de temperatura, têm um impacto considerável na qualidade da comunicação LoRa, afetando a confiabilidade e a eficiência da rede.

Um dos principais desafios identificados foi a diminuição da vida útil das baterias dos dispositivos LoRa, que se mostraram mais suscetíveis a condições extremas de temperatura. Temperaturas elevadas e baixas influenciaram diretamente a capacidade de carga das baterias, levando a um maior consumo de energia e à diminuição do tempo de operação dos dispositivos. Além disso, os problemas com a transferência de dados, como a perda de pacotes e falhas na modulação do sinal, foram mais evidentes quando as condições térmicas estavam fora dos parâmetros ideais.

A pesquisa também destacou a importância do monitoramento constante e do controle da temperatura dos dispositivos como medida essencial para otimizar o desempenho da comunicação LoRa. Com o uso de sensores de temperatura e tecnologias de gerenciamento térmico, foi possível mitigar os impactos adversos das variações de temperatura, proporcionando uma conectividade mais confiável e robusta, independentemente das condições ambientais do ambiente florestal.

Portanto, os resultados demonstram que, para garantir a eficácia de redes IoT baseadas em LoRa em ambientes externos e variáveis, como o cenário florestal analisado, é crucial o desenvolvimento de soluções adaptativas que considerem as condições climáticas. A implementação de estratégias de monitoramento e controle térmico pode assegurar uma comunicação estável e prolongar a vida útil dos dispositivos, viabilizando o uso de tecnologias LoRa em aplicações de longo prazo e em ambientes desafiadores, como o da floresta.

Nos trabalhos futuros sobre o estudo de Redes LoRa, é fundamental investigar o impacto de diferentes configurações de rede, como a densidade de nós e a potência de transmissão, na performance da rede em ambientes urbanos e rurais. Além disso, a otimização de algoritmos de roteamento e a integração com outras tecnologias, como 5G, são áreas promissoras para melhorar a eficiência e a cobertura. Estudos sobre técnicas avançadas de modulação e codificação também podem ser explorados para aumentar a robustez da comunicação em cenários com alto nível de interferência. A análise de mecanismos de segurança em redes LoRa e sua resistência a ataques também se torna uma linha de pesquisa crucial para garantir a integridade dos dados transmitidos.

## REFERÊNCIAS

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. *The Internet of Things: A survey*. Computer Networks, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.001.

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.

ADELANTADO, F. et al. Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, v. 55, n. 9, p. 34-40, 2017.

CENTENARO, M. et al. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios. *IEEE Wireless Communications*, v. 23, n. 5, p. 60-67, 2016.

CENTENARO, M. et al. Long-range communications in unlicensed bands. *IEEE Wireless Communications*, v. 23, n. 5, p. 60-67, 2016.

FERRAZ, R. et al. Performance Evaluation of LoRa in Forest Environments. *Sensors*, v. 20, n. 14, p. 3931, 2020.

**Fernandes, C., & Costa, R.** (2021). "Internet das Coisas: Conceitos e Aplicações." *Journal of Technology and Science Education*.

CENTENARO, M. et al. Long-range communications in unlicensed bands. *IEEE Wireless Communications*, v. 23, n. 5, p. 60-67, 2016.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.

Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). "The internet of things for health care: a comprehensive survey." *IEEE Access*, 3, 678-708.

**Kays, R., Crofoot, M. C., Jetz, W., & Wikelski, M. (2015).** Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science*, 348(6240), aaa2478. DOI: 10.1126/science.aaa2478

Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2018). "The internet of things: a survey." *Information Systems Frontiers*, 20(2), 293-319.

**Martins, P., & Silva, T. (2019).** "Os Desafios da Internet das Coisas." *Revista Portuguesa de Informática*.

Ray, P. P. (2018). "A review on Internet of Things architectures and applications in agriculture." *Journal of Computer Networks and Communications*.

Santos, Alyson de Jesus dos **Caracterização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazônica.** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

SOLDANI, D. et al. Security Challenges in IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 5, p. 3721-3732, 2018.

SOLDANI, D. et al. Internet of Things: Connectivity Issues and Solutions. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 5, p. 3721-3732, 2018.

**Sousa, A. F., & Lopes, S. (2020).** "A Internet das Coisas e o seu Impacto na Sociedade." *Revista de Engenharia e Tecnologia*.

SANTOS, L. C. R. Estudo e Análise do Uso de IoT para Criar uma Rede de Comunicação nos Rios da Amazônia. 2023. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2023.

Wei, Y., Li, H., & Wang, Z. (2020). IoT Data Quality Issues and Potential Solutions: A Literature Review. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2918-2938.

ZHANG, Y. et al. IoT-based ecological monitoring in forests. *Sensors*, v. 21, n. 7, p. 2501, 2021.