



CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

CAUÃ MAIA DE SOUZA NARA
DANIEL PINHEIRO MARCELINO DE OLIVEIRA
ELISSANDRA BERNADETT ABDON NASCIMENTO
FERNANDA CORDEIRO PANZERA
GABRIEL PINHEIRO MARCELINO DE OLIVEIRA
LUCAS GABRIEL CARVALHO AMORIM
MARCO ANTONIO GOMES PIEROZAN
MATHEUS TSUCHIYA DOURADO
RENAN ANDREW OLIVEIRA CANUTO
RIAN ERNESTO LEÃO DA SILVA

**AMAZOMNIA - O IMPACTO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA
AMAZÔNIA LEGAL.**

BELÉM

2023

CAUÃ MAIA DE SOUZA NARA
DANIEL PINHEIRO MARCELINO DE OLIVEIRA
ELISSANDRA BERNADETT ABDON NASCIMENTO
FERNANDA CORDEIRO PANZERA
GABRIEL PINHEIRO MARCELINO DE OLIVEIRA
LUCAS GABRIEL CARVALHO AMORIM
MARCO ANTONIO GOMES PIEROZAN
MATHEUS TSUCHIYA DOURADO
RENAN ANDREW OLIVEIRA CANUTO
RIAN ERNESTO LEÃO DA SILVA

**AMAZOMNIA - O IMPACTO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA
AMAZÔNIA LEGAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação na modalidade PRODUTO.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Rocha de Araujo.

BELÉM
2023

CAUÃ MAIA DE SOUZA NARA
DANIEL PINHEIRO MARCELINO DE OLIVEIRA
ELISSANDRA BERNADETT ABDON NASCIMENTO
FERNANDA CORDEIRO PANZERA
GABRIEL PINHEIRO MARCELINO DE OLIVEIRA
LUCAS GABRIEL CARVALHO AMORIM
MARCO ANTONIO GOMES PIEROZAN
MATHEUS TSUCHIYA DOURADO
RENAN ANDREW OLIVEIRA CANUTO
RIAN ERNESTO LEÃO DA SILVA

AMAZOMNIA - O IMPACTO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA AMAZÔNIA LEGAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação na modalidade PRODUTO.

Data da aprovação: / /

Nota final aluno(a) I: _____

Nota final aluno(a) II: _____

Nota final aluno(a) III: _____

Nota final aluno(a) IV: _____

Nota final aluno(a) V: _____

Nota final aluno(a) VI: _____

Nota final aluno(a) VII: _____

Nota final aluno(a) VIII: _____

Nota final aluno(a) IX: _____

Nota final aluno(a) X: _____

Banca examinadora

Prof. Dr. Fabio Rocha de Araujo.

Orientador(a)

Prof(a). Msc. Alessandra Natasha Alcantara Barreiros Baganha

Presidente(a) da Banca

Prof(a). Msc. Luciana Azevedo Vieira

Examinador(a) interno(a)

LISTA DE SIGLAS

ERB – Evolved Radio Base Station (Estação Rádio Base Evoluída)

ONU – Organização das Nações Unidas

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

LTE – Long Term Evolution

RPAS – Remotely Piloted Aircraft System

TCS – Tata Consultancy Services

RSRQ – Reference Signal Received Quality

RSRP – Reference Signal Received Power

RSSI – Reference Signal Strength Indication

eNodeB – Evolved Node B

SNIR – Signal-to-Noise and Interference Ratio

API - Application Programming Interface

SUMÁRIO

RESUMO	10
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.1 Introdução	11
1.2 Problema	11
1.3 Justificativa	11
1.4 Objetivos	12
1.5 Estrutura do trabalho	12
2 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	13
2.1 Análise de viabilidade	13
2.2 Prototipação	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

RESUMO

O Trabalho de Conclusão de Curso "AmazOmnia - O Impacto da Transformação Digital na Amazônia Legal" aborda a inovação tecnológica para melhorar a conectividade na Amazônia Legal. O projeto utiliza drones com o sistema Falken para mapear pontos ideais para instalação de estações rádio base (ERBs), superando a densa vegetação da região. O foco do AmazOmnia é oferecer uma solução customizada de conectividade, adotando um modelo de negócios B2B, atendendo empresas e governos, promovendo acesso inclusivo e sustentável à internet, e beneficiando comunidades locais. O trabalho destaca a minimização do impacto ambiental e a promoção do desenvolvimento socioeconômico na região. O trabalho inclui estudos técnicos detalhados, testes de protótipo, e discussões sobre comercialização e produtos correlatos, ressaltando a importância e o potencial de AmazOmnia como uma solução de impacto para desafios de conectividade na Amazônia.

Palavras-chave: Transformação Digital, Amazônia Legal, Conectividade, Drones, Sistema Falken, Estações Rádio Base, Modelo de Negócios B2B, Acesso Inclusivo à Internet.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Introdução

Nos últimos anos, a transformação digital tem remodelado a maneira como vivemos, trabalhamos e nos comunicamos. A revolução digital, iniciada nas últimas décadas do século XX, tem acelerado de forma exponencial, impulsionada pelo avanço das tecnologias de informação e comunicação. A internet, em particular, transformou-se de um luxo para uma necessidade básica, essencial para o acesso a informações, serviços governamentais, oportunidades de educação e negócios. A China lidera em termos de número de usuários de internet, somando mais de um bilhão de usuários, refletindo seu rápido desenvolvimento econômico e investimento em infraestrutura digital. No entanto, essa transformação digital não é uniforme em todo o mundo. Enquanto áreas urbanas e desenvolvidas desfrutam de conectividade de alta velocidade, regiões remotas e menos desenvolvidas, como a Amazônia, enfrentam desafios significativos. Cerca de 90% das residências em território nacional já possuem acesso a tecnologias de conexão e informação, sendo a região sudeste, líder nesse panorama, com 48,1% de seu território preenchido. As regiões Norte, com 34,3%, e Nordeste, com 30,2%, apresentaram os menores percentuais de usuários. Porém, também registram os maiores aumentos nos contingentes de usuários, respectivamente, com incrementos de 213,9% e 171,2%. A disparidade no acesso à internet entre diferentes regiões do Brasil é um reflexo de desigualdades mais amplas, que afetam o desenvolvimento social e econômico.

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem monitorado consistentemente o avanço da conectividade global, com especial atenção às regiões remotas e de difícil acesso, onde barreiras logísticas e mercadológicas são prevalentes. Com base nas informações conclusivas a respeito da região da Amazônia, a principal limitação reside na capacidade dos sensores atuais utilizados em levantamentos de sites (site surveys), os quais são restritos a dados coletados em terra. Esta limitação é agravada pela densidade da floresta amazônica, que impede a coleta eficiente e precisa de dados. A análise do mapa de conectividade fornecido pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) revela que aproximadamente 84,4% do território do estado do Amazonas está desprovido de qualquer forma de sinal de conectividade. Esta deficiência de infraestrutura de rede não apenas perpetua um desequilíbrio de informação e conhecimento, mas também impacta negativamente diversos aspectos cruciais da sociedade. A falta de acesso à internet na região amazônica limita severamente o progresso em áreas fundamentais como pesquisa, desenvolvimento tecnológico, saúde,

educação e segurança pública. A relevância deste cenário para o desenvolvimento socioeconômico e tecnológico é inegável. A conectividade à internet é um recurso vital que facilita o avanço em diversas frentes, desde a melhoria da qualidade de vida até a promoção de oportunidades educacionais e de saúde, além de promover um crescimento econômico mais inclusivo e sustentável. Portanto, a ineficiência dos métodos atuais de implantação de redes móveis na Amazônia não apenas representa um obstáculo tecnológico, mas também um entrave significativo para o progresso social e econômico da região.

Este estudo propõe o desenvolvimento de uma ferramenta especializada para a medição de dados móveis em regiões desafiadoras, como a Amazônia, visando superar as barreiras geográficas e logísticas presentes. A inovação reside na capacidade de expandir a cobertura de rede móvel, ultrapassando os limites da conectividade básica, atualmente inexistente em muitas áreas. A implementação de infraestrutura de rede nessas regiões remotas pode também incentivar a descentralização, tanto demográfica quanto no acesso à internet, atraindo empresas e fomentando novos negócios. Para tanto, é necessário adotar uma abordagem analítica inovadora, que considere as peculiaridades da medição e implantação de infraestrutura de rede em áreas de difícil acesso, visando seu uso eficiente e maximização dos benefícios para a população local.

Além disso, a sustentabilidade é um aspecto central do nosso projeto. Ao focar na Amazônia, reconhecemos a importância de preservar seu ecossistema único. Nosso produto é projetado para minimizar o impacto ambiental, garantindo que a expansão da conectividade não prejudique a biodiversidade da região. Ao mesmo tempo, a melhoria da conectividade pode apoiar esforços de conservação e sensibilizar para a importância da Amazônia, tanto local quanto globalmente. Este produto será capaz de penetrar a densa vegetação da região e utilizar um modelo matemático avançado para identificar pontos estratégicos para a instalação de antenas. A eficácia deste sistema será garantida pelo uso de tecnologias existentes e sensores de alta precisão, capazes de gerar dados confiáveis de conectividade móvel, mesmo em redes privadas. Este produto tem o potencial de preencher as lacunas existentes na infraestrutura de rede da Amazônia, promovendo um acesso equilibrado à internet na região, e possibilitando a exploração sustentável de suas riquezas, além de abrir caminhos para que o mundo reconheça seu verdadeiro potencial.

1.2 Problema

A Amazônia, uma região de vasta biodiversidade e rica em culturas diversas, apresenta um amplo espectro de oportunidades para atividades sustentáveis que não comprometam seu ecossistema. No entanto, a extensão e complexidade da região exigem um estudo aprofundado e a implementação de soluções inovadoras que visem integrar efetivamente a Amazônia ao contexto global contemporâneo. A dificuldade em estabelecer tecnologias amplamente adotadas em outras partes da sociedade, devido à densidade e características da floresta amazônica, representa um desafio persistente. É imperativo encontrar um equilíbrio entre produção, conservação e desenvolvimento sustentável nesta área vital.

Um aspecto crítico dessa problemática é a conectividade. Conforme dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), a cobertura de redes de telefonia móvel na Amazônia é alarmantemente baixa, abrangendo apenas 1,05% da região. Esta limitação de infraestrutura é particularmente preocupante quando se considera a vastidão do território amazônico. A falta de conectividade afeta negativamente diversas comunidades, escolas e hospitais, privando-os de benefícios significativos que poderiam ser obtidos através do acesso à informação e às tecnologias associadas à internet. A disseminação de informações e a integração de tecnologias conectadas são essenciais para o avanço na qualidade de vida dessas áreas.

1.3 Justificativa

A justificativa para o desenvolvimento deste projeto reside na necessidade de aprofundar o estudo e a análise de dados de rede e frequência LTE, com o objetivo de identificar os principais pontos de vantagem de sinal nas regiões da Amazônia. O foco central é promover uma transformação significativa na vida das pessoas residentes nessas regiões, facilitando a implementação de sinais de comunicação e contribuindo para a integração da Amazônia com o restante do mundo. A melhoria na conectividade impactará positivamente diversos setores, incluindo dados, pesquisa, segurança, cultura, entre outros, proporcionando benefícios abrangentes através de um serviço de conectividade estável.

É importante ressaltar que, embora existam soluções similares disponíveis no mercado, o diferencial do nosso projeto não se limita à implementação de redes LTE em áreas carentes de sinal, mas também inclui a realização de um estudo detalhado, utilizando dados coletados por sensores de frequência, para gerar simulações de sinal baseadas em pontos de

análise estratégicos. Com os resultados obtidos, pretendemos elaborar um relatório técnico e propostas que serão direcionadas a potenciais clientes, oferecendo uma solução viável para expandir seus serviços a essas regiões remotas.

Adicionalmente, o projeto se destaca pelo uso de dispositivos RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), ou drones, para obter resultados mais precisos. Dada a vasta extensão e a densidade da floresta amazônica, a leitura de dados móveis torna-se um desafio considerável. A interferência da cobertura vegetal na recepção de sinal é uma variável crítica, que será minuciosamente analisada através do uso desses dispositivos avançados.

1.4 Objetivos

A. Objetivo Geral:

Atingir resultados precisos acerca do mapeamento e monitoramento de redes móveis em regiões do país onde não há acesso eficiente a redes de telefonia móvel, trazendo impacto direto para comunidades através da disseminação de informação e cultura, aumento na qualidade da educação, saúde, segurança e fomentando novos negócios.

B. Objetivos Específicos:

Realizar validação de dados em voo, com diferentes cenários e aspectos climáticos. Gerar um novo modelo de negócios rentável para utilização do produto como serviço, restringindo seu uso e tecnologia aos detentores da mesma. Fomentar novos negócios de impacto na Amazônia, já que os dados explorados pelo produto abrirão portas para novas soluções nas regiões afetadas.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho compreende, em seu primeiro capítulo, a contextualização, no qual são abordados elementos cruciais, como a introdução à temática escolhida, a exposição do problema a ser investigado, a justificativa para a pesquisa e os objetivos a serem alcançados. O segundo capítulo detalha o desenvolvimento do produto, explorando aspectos como a análise de viabilidade e a prototipação. No terceiro capítulo, são apresentados os resultados obtidos, seguidos por uma análise e discussão aprofundadas. Por fim, o quarto capítulo engloba as considerações finais, consolidando as descobertas, destacando contribuições e propondo possíveis direções para pesquisas futuras.

2 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

2.1 Análise de viabilidade

2.1.1 Mercado e Público-alvo

O setor de telecomunicações na região da Amazônia Legal apresenta um cenário de demanda expressiva e ampla cobertura. De acordo com informações da ANATEL referentes a 2022, o Pará apresenta 53,7% de suas localidades sem acesso a serviços móveis, enquanto no Amazonas essa falta de cobertura atinge 82,3% do território, incluindo áreas sem sinal 2G. Esta situação se estende por 61% da Amazônia Legal. Em contraste, um estudo da IDC Global Private Networks Survey 2022 aponta um crescimento significativo no mercado global de redes móveis privadas 4G e 5G, projetando um aumento de 36% de 2022 a 2026, com um salto de investimento de R\$ 1,8 bilhão para R\$8,2 bilhões.

Esta expansão é impulsionada principalmente por setores como governo, manufatura e varejo, destacando-se pela melhoria na eficiência operacional. Nossa pesquisa foca na realidade local, onde, inclusive na capital do estado, identificamos áreas desprovidas de serviço e cobertura de redes móveis, especialmente em ilhas próximas à região continental. Diante disso, observamos que nossos principais concorrentes, como a Pelc Serviços de Informática de Ananindeua, Pará, utilizam métodos tradicionais. Esta abordagem convencional nos oferece uma vantagem competitiva, visto que proporcionamos um serviço mais rápido, personalizado e com abrangência territorial mais ampla, além de um preço competitivo, focando no desenvolvimento da região amazônica.

É válido mencionar que a Zenith Inova atua como um negócio de impacto, ou seja, além de buscar lucratividade, nosso objetivo central é gerar um impacto social ou ambiental positivo. Esses negócios são projetados para abordar problemas específicos da sociedade ou do meio ambiente, como a redução da pobreza, melhoria da saúde e educação, sustentabilidade ambiental, e inclusão social. Eles diferem das organizações sem fins lucrativos tradicionais, pois operam sob um modelo de negócios sustentável financeiramente, gerando receita através de seus serviços ou produtos. Ao mesmo tempo, o impacto positivo gerado é um componente integrante de sua missão e estratégia de negócio, e não apenas um benefício secundário. Negócios de impacto buscam, portanto, equilibrar propósito e lucro, criando soluções escaláveis e sustentáveis para desafios sociais e ambientais.

Nossos serviços são direcionados a um leque diversificado de clientes, abrangendo pequenas, médias e grandes empresas, particularmente nos setores de manufatura, telecomunicações, mineração e varejo, com possíveis colaborações com entidades governamentais. Nosso foco está em agregar valor tanto para nossos clientes quanto para as comunidades que se beneficiarão da expansão da cobertura de redes. Esta expansão promete impactos significativos em áreas cruciais como saúde, segurança, educação e cultura, especialmente em regiões remotas.

Os clientes que atendemos têm o objetivo de ampliar suas operações em zonas de baixa competitividade e pouca presença comercial, buscando comunicação eficaz e logística otimizada. Isso não apenas abre oportunidades de emprego em regiões anteriormente isoladas devido à falta de conectividade, mas também fortalece as comunidades locais, fomentando novos negócios e valorizando a região amazônica.

Ao longo do desenvolvimento do nosso protótipo, atraiu-se a atenção de duas grandes corporações. A primeira, a Vale, uma renomada mineradora multinacional brasileira, enfrenta desafios com os métodos tradicionais de site survey para a implementação de internet, especialmente em áreas remotas. Nossa solução apresenta-se como uma resposta eficaz para esses desafios logísticos, prometendo resultados mais precisos. Adicionalmente, a Tata Consultancy Services (TCS), uma líder global em consultoria de tecnologia da informação do Grupo TATA, reconheceu o potencial de sinergia com nossa inovação e aguarda resultados concretos para avançar nas negociações.

2.1.2 Competências técnicas

Na Zenith, enfrentamos diariamente os desafios inerentes ao setor de telecomunicações, um campo notoriamente complexo e dinâmico. Essa realidade nos motiva a aprofundar continuamente nosso conhecimento e habilidades técnicas na área, que exigem pesquisa constante e a aplicação de cálculos meticulosos. Combinando nossa expertise em tecnologia de drones com um empenho contínuo em transformar a Amazônia em um polo tecnológico global, conseguimos desenvolver uma solução inovadora e eficaz.

Esta solução, que é o cerne do nosso serviço, destaca-se por sua capacidade de gerar resultados precisos e confiáveis. A integração do nosso profundo conhecimento em telecomunicações com o uso avançado de drones resultou no AmazOmnia, um serviço que se

diferencia significativamente dos demais no mercado. Sua proposta de valor única e o método inovador de coleta e análise de dados conferem ao AmazOmnia um lugar de destaque no setor, refletindo o compromisso da Zenith com a inovação e a excelência técnica.

Para assegurar um padrão elevado de qualidade e excelência no projeto, foi imprescindível aprofundar-se em diversas normas e princípios em variadas áreas e competências técnicas. No desenvolvimento do software responsável pelo processamento dos dados coletados pelo módulo Falken, adotaram-se os cinco princípios SOLID formulados por Robert C. Martin, essenciais para assegurar que o processo de construção e design da plataforma esteja alinhado com padrões de execução eficientes.

O Princípio da Responsabilidade Única (SRP) postula que um objeto deve ter somente uma função, simplificando a manutenção e entendimento do código. Já o Princípio do Aberto/Fechado (OCP) defende que as entidades de software devem ser passíveis de extensão, mas não de modificação direta, permitindo evoluções sem alterações no código existente. O Princípio da Substituição de Liskov (LSP) se aplica quando objetos de classes derivadas podem substituir objetos da classe base sem comprometer a funcionalidade. O Princípio da Segregação de Interfaces (ISP) sugere que as classes não devam ser obrigadas a implementar interfaces não utilizadas, promovendo interfaces coesivas e direcionadas. Por fim, o Princípio da Inversão de Dependência (DIP) preconiza que módulos de alto nível não devem depender de módulos de baixo nível, ambos devendo se basear em abstrações, o que aumenta a flexibilidade e adaptabilidade do sistema.

A habilidade em aplicar estes princípios é fundamental para criar códigos coesos, sustentáveis e adaptáveis, resultando em sistemas de software robustos e de fácil manutenção, aspectos cruciais na arquitetura e design de software orientado a objetos.

Metodologias como desenvolvimento ágil, integração e *deploy* contínuos foram empregadas para facilitar entregas rápidas, consistentes e confiáveis de software, adaptando-se facilmente a mudanças nos requisitos do projeto. Testes automatizados e garantia de qualidade foram fundamentais para assegurar a confiabilidade e a ausência de defeitos no produto final. A automação de testes não só agiliza o processo de validação, mas também contribui para a eficiência operacional e qualidade do software.

Competências como configuração, gestão e manutenção de servidores com sistema operacional Linux são essenciais para assegurar a estabilidade, segurança e performance do produto ao longo do tempo. Um administrador capacitado é capaz de gerenciar desde a configuração inicial até a manutenção contínua, estabelecendo um ambiente de servidor

robusto e confiável. Ressalta-se também a importância do conhecimento e habilidades necessárias para projetar, implementar, administrar e otimizar bancos de dados robustos, assegurando eficiência, integridade e segurança dos dados. Isso inclui o uso de diagramas de entidade-relacionamento, linguagem SQL para consultas eficientes e ORM (*Object-Relational Mapping*) para integração do banco de dados com aplicações orientadas a objetos.

A inovação do projeto também exigiu o desenvolvimento de aplicações utilizando tecnologias modernas, como *React.js* e *Next.js* para *front-end*, *NestJS* para *back-end*, e *React Native* para criação de experiências móveis nativas. A competência no trabalho com *APIs RESTful* e *Websockets* ressalta a capacidade de comunicação eficiente e em tempo real, essencial para aplicações interativas e escaláveis.

2.2 Prototipação

2.2.1 Requisitos

User Equipment (UE):

Segundo o professor, Luis Henrique Costa, o *User Equipment* (UE) é um dispositivo utilizado pelo usuário para estabelecer conexão e interagir com uma rede de telecomunicações. Este equipamento pode ser um smartphone, tablet, modem ou qualquer dispositivo que permita acesso aos serviços oferecidos por uma rede móvel. Essa afirmação foi pontuada em um site de telecomunicações da UFRJ.

BTS e eNodeB:

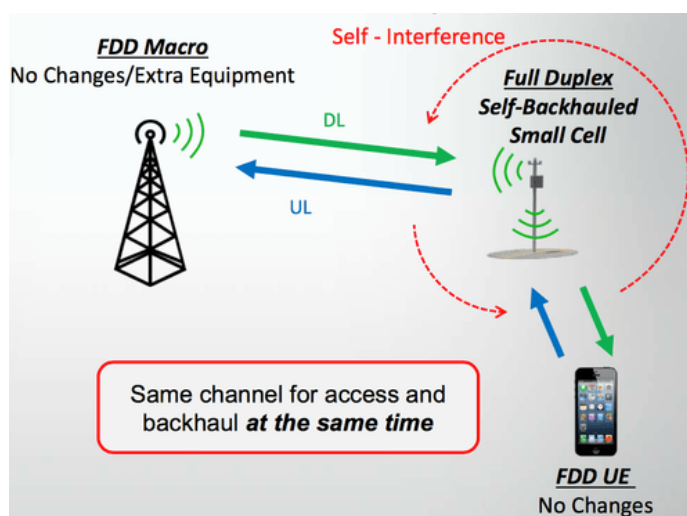
As estações BTS (*Base Transceiver Station*) e eNodeB são elementos cruciais em sistemas de telecomunicações. A BTS opera com uma arquitetura GSM, utilizando a tecnologia de transmissão FDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência), controlando a comunicação por meio da alocação de diferentes frequências. Por outro lado, a eNodeB, presente em sistemas mais recentes, como o LTE, aprimora essa função. Utiliza a tecnologia OTDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo Ortogonal), onde o espectro de frequência é gerenciado por meio de frequências ortogonais, resultando em uma transmissão mais eficiente.

Enlace

Um enlace é a conexão entre dois ou mais dispositivos, essencial para estabelecer comunicação. Em sistemas de comunicação móvel, como redes celulares, o enlace opera no

modo full duplex, permitindo a comunicação bidirecional simultânea. Essa modalidade requer duas frequências distintas para cada direção do enlace: o Uplink, responsável pela transmissão do dispositivo para a estação base, e o Downlink, que possibilita a transmissão da estação base para o dispositivo. Essa configuração simétrica viabiliza a troca de informações de forma eficaz entre os dispositivos conectados na rede móvel

Figura 1 - Sistema LTE com UE, BTS eNodeB



Fonte: Hong, S. et al. 5G wireless communication systems: prospects and challenges. Kumu Networks; Stanford University, 2014.

dBm (decibéis em relação a um miliwatt)

É uma unidade de potência, usada para estabelecer relação potência de sinal. 1 miliwatt equivale a 0 dBm. Ou seja, valores acima de 0 dBm é maior que 1 mW.

dB (decibéis)

Ela é uma unidade, mas agora é uma relação para expressar diferenças entre 2 quantidades, pode ser usada para mostrar o ganho de uma antena, atenuação de sinal ou a diferença de potência entre dois sinais. Representada pelos cálculos como escala logarítmica.

Protocolos de comunicação utilizados

LoRa (Long Range), é um protocolo de comunicação sem fio desenvolvido para comunicação de longas distâncias, é eficiente pelo de conseguir fazer conexão ponto-ponto, mas também pelo seu baixo consumo de energia. Usamos para estabelecer comunicação com

o dispositivo que vai coletar os dados e com o dispositivo que ficará com o operador. Em seus estudos é capaz desse protocolo conseguir manter conexão com uma distância de 6Km.

Redes Móveis, as redes móveis constituem sistemas de comunicação sem fio que operam por meio do espectro de frequência de rádio. Compostas por cinco gerações distintas, cada uma dessas gerações apresenta avanços tecnológicos, resultando em melhorias significativas na eficiência das comunicações. Em todas essas gerações, as redes móveis são suportadas por estações de rádio base, cujas estruturas evoluíram ao longo do tempo, possibilitando a conexão e o compartilhamento de voz, texto e pacotes de dados de internet

por dispositivos móveis. Esse modelo de comunicação se baseia no conceito de acesso múltiplo, onde técnicas como FDMA, TDMA, CDMA e OFDMA permitem a interação eficiente entre múltiplos usuários no espectro de frequência. Além disso, a comunicação ocorre por meio do full-duplex, uma técnica de enlace que permite a transmissão e recepção simultânea de dados.

Nesse contexto, a aplicação de técnicas e tecnologias específicas é fundamental. Contudo, os protocolos utilizados podem variar de acordo com a geração empregada. Por exemplo, o GSM é adotado no 2G, enquanto o LTE é utilizado no 4G. É relevante mencionar que o protocolo LTE foi escolhido para o projeto AMAZOMNIA, sendo os cálculos dimensionados para essa específica tecnologia.

Bluetooth, tecnologia que permite comunicação sem fio, ponto a ponto e de curto alcance. Utilizada para fazer a integração do embarcado que ficará com o operador com o celular dele.

2.2.2 Tecnologias Utilizadas

Long Range

O LoRa, parte do LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), é uma tecnologia que se destaca pelo seu baixo consumo de energia e é aplicável no espectro de radiofrequência não licenciada, o que significa que pode operar em frequências de uso geral, como 915 MHz e 868 MHz para transmissão de dados via rádio. É importante ressaltar que o LoRa é o componente físico da tecnologia, enquanto o protocolo utilizado para a comunicação é o *LoRaWAN*, padronizado pela *LoRa Alliance*, uma sociedade dedicada ao aprimoramento desse protocolo.

Uma analogia útil é pensar em *LoRa* como a camada física e o *LoRaWAN* como a camada de rede no modelo *OSI* de redes de computadores. Além do baixo consumo

energético, o alcance e a eficiência na transmissão de dados são fatores determinantes na escolha dessa tecnologia. O protocolo *LoRaWAN* pode atingir taxas de transferência entre 0.3 Kbps e 50 Kbps na frequência de 915 MHz. De acordo com a *LoRa Alliance*, o *LoRaWAN* alcança um raio de 5 km em áreas urbanas e 10 km em áreas rurais.

Por conta dessas características, optamos pelo *LoRa* para a comunicação com o dispositivo acoplado ao drone. Ele permite a transmissão dos dados necessários ao operador, estabelecendo uma rede ponto a ponto. Para esse fim, escolhemos o modelo (SX1276 figura 2.0).

Figura 2.0: LoRa SX1276

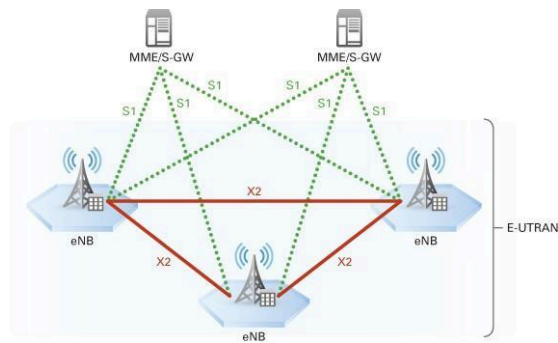


Fonte: <https://www.saravati.com.br/modulo-lora-868mhz-sx1276-rfm95w.html>

LTE

A tecnologia LTE (*Long Term Evolution*), é a tecnologia empregada hoje no cenário brasileiro. Ela veio como uma evolução da UMTS, tecnologia criada pela organização 3GPP, que é baseada em um sistema de propagação Ortogonal de frequência, o OFDMA no *downlink* e SC-FDMA para o *uplink*. É uma tecnologia baseada em TCP/IP. No LTE, houve uma mudança grande na arquitetura, agora às BTS são chamadas de eNodeB. Basicamente essas torres fazem o papel de gerenciar a comunicação dos dispositivos, além de conseguir fazer handover que é o processo onde uma UE consegue migrar de uma célula para outra, buscando uma melhoria no desempenho. A figura 2.1 mostra como funciona uma eNodeB.

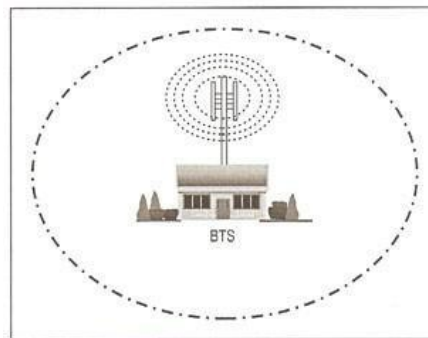
Figura 2.1: Arquitetura de rede LTE



Fonte: https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/what_lteenb.html

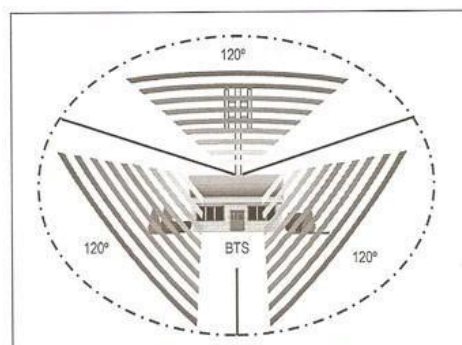
Na estrutura fundamental da rede LTE, as estações de transmissão (BTS ou eNodeB) delimitam sua área de cobertura em células (Figura 2.2), que podem ser omnidirecionais ou subdivididas em setores de 120° , organizando-se em três setores para abranger um círculo completo de 360° (Figura 2.3). Essa configuração setorizada otimiza a cobertura e a alocação eficiente de recursos de transmissão, permitindo o ajuste da potência do transmissor conforme a intensidade do sinal em áreas específicas.

Figura 2.2 - BTS (Base Transceiver Station)



Fonte: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/1_1.html

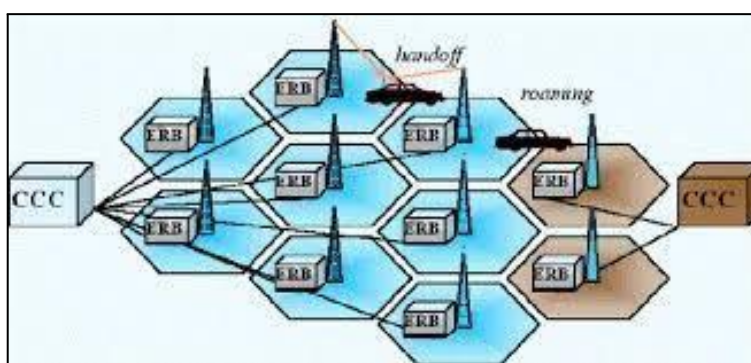
Figura 2.3 - Célula setorizada da BTS



Fonte: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/1_1.html

O formato de uma célula ideal é circular, mas como temos ações externas tomamos como base uma forma de hexágono, podemos chamar também de colméia (Figura 2.4).

Figura 2.4 - Componentes básicos de um sistema celular de colméia



Fonte: http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/msantos/smc_01.html

À medida que um dispositivo do usuário (UE) se move, há transições entre essas células, demandando novas medições. Na rede LTE, a UE utiliza três parâmetros para avaliar as referências da eNodeB: RSSI, RSRQ e RSRP. Esses parâmetros informam a eNodeB no momento da aplicação do handover e são obtidos por meio de fórmulas específicas.

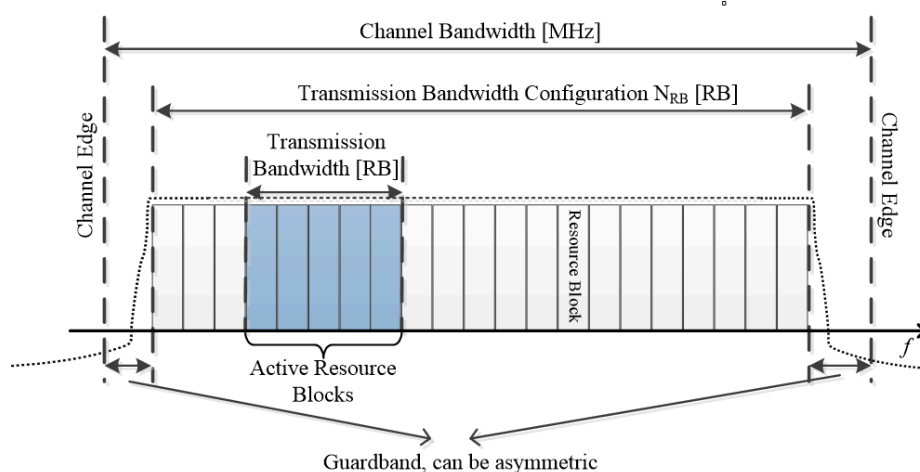
O RSRP representa a potência média dos elementos de recursos (RE) em uma célula que abrange a largura de banda, calculado pela fórmula RSRP: $RSSI - 10 \log(12 \cdot N)$. Enquanto isso, o RSRQ, expresso em dB, relaciona a qualidade do sinal à sua força, levando em conta a interferência e o ruído na rede RSRQ: $N \cdot (RSRP/RSSI)$ ou RSRQ: $10 \log(N) + RSRP \text{ (dBm)} - RSSI \text{ (dBm)}$.

O SNR (Signal-to-Noise Ratio), representando a relação sinal-ruído, é calculado pela $SNR = RSRP / P_{n_Re}$ (noise power), obtidos dos dados das placas de rádio frequência.

É importante ressaltar que o RSSI, embora seja uma medida de potência do sinal recebido, não considera a qualidade do mesmo. O RSRP, por sua vez, oferece uma medida mais específica ao capturar a potência de uma célula. O RSRQ, relacionado à largura de banda do sinal, avalia a qualidade dentro da célula.

Os recursos de rádio, denominados "resource blocks", representam unidades fundamentais de tempo e frequência essenciais para alocar dados enviados da UE para a eNodeB (figura 2.5), permitindo flexibilidade na largura de banda. O 3GPP estabelece faixas ideais para o RSRP entre -44 e -140dBm (Tabela 1), enquanto para o RSRQ, a faixa é de -3 a -19.5dB. (Tabela 2).

Figura 2.5: Canal de ativação resource blocks.



Fonte: [Introduction to 5G] 5G Frequency Domain Resources-2

Tabela 1: RSRP mapping

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRP_00	RSRP < -140	dBm
RSRP_01	-140 ≤ RSRP < -139	dBm
RSRP_02	-139 ≤ RSRP < -138	dBm
...
RSRP_95	-46 ≤ RSRP < -45	dBm
RSRP_96	-45 ≤ RSRP < -44	dBm
RSRP_97	-44 ≤ RSRP	dBm

Fonte: 3GPP TS 36.133 V8.9.0 (2010-03)

Tabela 2: Espectro de frequência.

System	Frequency		Bandwidth	Channel Number	ARFCN
	Uplink	DownLink			
EGSM	880 - 890	925 - 935	10 MHz	50	974 - 1023
GSM	890 - 915	935 - 960	25 MHz	125	0 - 124
GSM 1800	1710 - 1785	1805 - 1880	75 MHz	375	512 - 886
GSM 1900	1850 - 1910	1930 - 1990	60 MHz	300	512 - 811

Fonte: Asiacell Telecom Platform Course

Diante destes estudos apresentados foi selecionado um microcontrolador da SIM7600G (figura 3.0)

Figura 3.0: SIM7600G

Fonte: <https://www.waveshare.com/sim7600g-h-4g-module.htm>

Bluetooth BLE

A tecnologia bluetooth é um sistema de comunicação sem fios. Podemos destacar o baixo consumo de energia e o baixo custo, O modo de operação que utilizamos foi o BLE (bluetooth Low Energy) que tem uma comunicação P2P, o modo de transferência é através de uma modulação GFSK com uma frequência 2.4Ghz. Dessa forma, o módulo que acabamos utilizando é o que vem no ESP32 o modelo desse bluetooth é 4.0 e BLE.

Microcontrolador ESP32

Não é um protocolo, mas sim um modelo de microcontrolador, utilizaremos ele para integrar o bluetooth BLE com o LoRa, desenvolvido pela Espressif Systems. Escolhemos ele pelo motivo do bluetooth já vim integrado e conseguiremos desenvolver o código do embarcado através da IDE do Arduino, então é um microcontrolador de baixo custo com uma acessibilidade alta para desenvolver.

Figura 4.0: ESP-WROOM-32

Fonte: Espressif Systems

Aspectos técnicos

O projeto Amazomnia emprega tecnologias baseadas em protocolos de comunicação via rádio, operando em diferentes frequências. Os sistemas embarcados consistem em dois dispositivos distintos: um integrado ao drone e outro destinado ao usuário. O dispositivo acoplado ao drone utiliza dois protocolos de comunicação, LoRaWAN e LTE. A placa SIM7600G (Figura 3.0) é responsável por coletar informações como, latitude, longitude e quando se comunica com a eNodeB, consegue coletar a intensidade de sinal do local.

O LoRaWAN é empregado para transmitir essas informações para a placa do operador. Este último possui uma placa capaz de coletar e enviar esses dados para um aplicativo no celular, utilizando o protocolo Bluetooth Low Energy (BLE), conforme ilustrado no fluxograma (Figura 4.1).

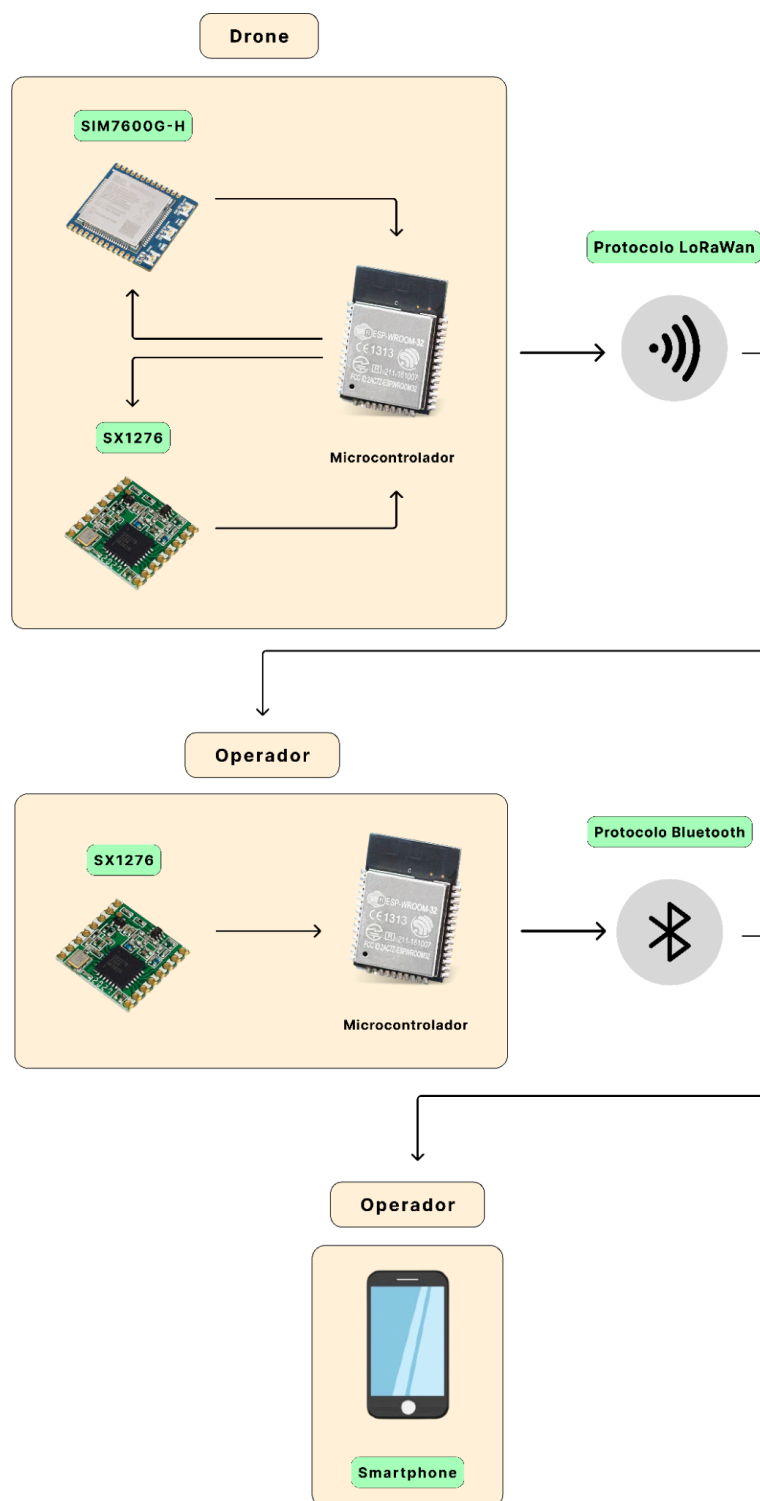
A placa SIM7600G desempenha a medição da intensidade do sinal na região de coleta e é fundamental conhecer as larguras de banda do Downlink e Uplink nas quais a placa opera. Esses dados são essenciais para calcular o RSRQ e o RSRP. Posteriormente, a placa envia esses resultados para o microcontrolador ESP32 (Figura 4.0) por meio do protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Após essa comunicação, o ESP32 se conecta a uma placa LoRa (Figura 3.0), também utilizando o protocolo UART.

A comunicação entre os dispositivos embarcados que fica no drone e com o operador é realizada por meio de uma conexão ponto a ponto (P2P), habilitada pela placa SX1276 (Figura 2.0), viabilizando a aplicação do protocolo LoRaWAN.

O dispositivo utilizado pelo operador não inclui o chip SIM7600G, mas contém o SX1278 e o microcontrolador ESP32, responsável pelo suporte ao Bluetooth Low Energy. A placa SX1276 se comunica com o outro dispositivo embarcado, adquirindo informações como latitude, longitude, nível de bateria e RSSI. Esses dados são transmitidos para o aplicativo por

meio do protocolo Bluetooth. Portanto, os esses dados estarão no app que fica responsável pelos cálculos do RSRQ e RSRP, com o cunho de informação para o operador.

Figura 4.1: Fluxograma do protocolo.



No desenvolvimento do aplicativo e da plataforma web vários aspectos técnicos estão sendo considerados para garantir eficiência e usabilidade. Primeiramente, o aplicativo se conecta com a placa LoRa via protocolo Bluetooth BLE, recebendo os dados de intensidade de sinal (RSSI), frequência de banda, latitude, longitude e nível da bateria do dispositivo embarcado. Essa conexão permite a transmissão eficiente de dados vitais para o monitoramento, e também possibilita o cálculo do RSRP dentro do aplicativo, permitindo, portanto, sua utilização dentro da fórmula para calcular o SNR.

O aplicativo será desenvolvido utilizando a biblioteca React Native, uma escolha popular para criação de aplicativos devido à sua eficiência e capacidade de criar uma experiência de usuário nativa. E ainda possibilitando armazenar os dados dos logs que serão gerados com as análises localmente no dispositivo Android e sem conexão com a internet, favorecendo também o desempenho do aplicativo. E esse armazenamento local será feito através do Async Storage, que é um sistema de armazenamento de dados fornecido pelo próprio React Native. O foco na usabilidade é aprimorado por um design UX da interface, priorizando a clareza na exibição dos principais dados na tela, facilitando a interação do operador com o aplicativo.

Considerando que o uso do aplicativo é restrito ao operador, a distribuição é simplificada pela geração de um arquivo .apk para dispositivos Android. Isso permite uma instalação direta e controlada do aplicativo nos dispositivos destinados.

Para a plataforma web, a escolha do NestJS para o backend, PostgreSQL para banco de dados e NextJS para o frontend, configura uma stack tecnológica robusta e escalável. A plataforma conta com um sistema de login, garantindo a segurança e o acesso restrito aos logs das análises e ao mapa interativo. Este mapa, implementado com a API do Google Maps, é uma ferramenta crucial, permitindo a visualização dos pontos de análises das eNodeB e mapas de calor baseados em RSSI e frequência de banda. As funcionalidades avançadas da API do Google Maps, como desenho no mapa e exibição de dados, são exploradas para oferecer uma experiência interativa e informativa ao usuário.

Figura 4.2: Exemplo de mapa de calor da API Google maps



Fonte: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/heatmaplayer?hl=pt-br>

2.2.3 Funcionalidades do Produto

O Amazomnia é um sistema voltado para identificar o local mais adequado para instalação de antenas de redes móveis, proporcionando dados cruciais para essa análise. Essencialmente, os parâmetros considerados incluem RSRQ (*Reference Signal Received Quality*), RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSSI (*Received Signal Strength Indication*) e SNIR (*Signal-to-Noise and Interference Ratio*). Além da obtenção desses dados, o sistema registra e apresenta a localização precisa onde as medições foram realizadas, oferecendo um mapeamento detalhado dos pontos analisados. Como parte da operacionalização desses procedimentos, foi incorporada uma função para monitorar a porcentagem da bateria do equipamento, garantindo a continuidade e confiabilidade das medições durante a avaliação dos locais. Além disto, vai ser elaborado uma dashboard que detalha esses pontos de medição e mostra os dados registrados

2.2.6 Comercialização do Produto

O AmazOmnia, sendo um serviço, atenderá seus clientes através de um modelo de negócios *Business-to-Business* (B2B). É uma forma de transação comercial onde uma empresa fornece produtos ou serviços diretamente a outras empresas, não consumidores individuais. Estes clientes podem ser fabricantes, revendedores, instituições, governos, ou qualquer tipo de organização que necessite de produtos ou serviços para operar. Será empregado uma combinação de venda direta do serviço, através de um especialista

responsável por realizar os voos de medição. O preço do serviço será baseado no tamanho da área e logística adequada para uma execução eficiente, levando em consideração o ganho de impacto para as comunidades que serão beneficiadas através da implementação. Essa estratégia de preços tem como objetivo equilibrar a acessibilidade para os clientes e a sustentabilidade financeira para a empresa.

A estratégia de impacto adotada pelo AmazOmnia foca na simplicidade e eficácia. Ao identificar empresas que enfrentam déficits significativos de conexão em áreas específicas, a iniciativa propõe entregar a melhor posição para torres de comunicação nessas regiões. Este plano não apenas atende às necessidades de conectividade dessas empresas, mas também estende o acesso a serviços móveis para as comunidades locais. Esta abordagem visa garantir que, além das empresas beneficiadas, as populações dessas áreas, que há muito carecem de acesso adequado à conectividade, possam finalmente usufruir de serviços de telecomunicações essenciais. Assim, o projeto AmazOmnia não apenas resolve um desafio operacional para negócios, mas também contribui significativamente para a melhoria da qualidade de vida e acesso à informação para as pessoas na Amazônia Legal.

Para promover o AmazOmnia, implementaremos uma estratégia de marketing integrada que inclui marketing digital (SEO, marketing de conteúdo, publicidade paga online), participação em eventos do setor e webinars, além de campanhas de e-mail marketing. O objetivo é aumentar a conscientização sobre o serviço e gerar leads qualificados. Utilizaremos ferramentas de análise de dados para monitorar o desempenho do serviço e a satisfação do cliente. Esses insights nos permitirão fazer ajustes estratégicos para otimizar continuamente a nossa oferta.

Com esses elementos, a estratégia de comercialização do AmazOmnia visa não apenas alcançar o sucesso no mercado, mas também estabelecer uma base sólida para o crescimento sustentável e a inovação contínua.

2.2.7 Produtos Correlatos

Em um contexto global onde a conectividade desempenha um papel cada vez mais vital, diversas inovações emergem para atender a crescente demanda por acesso à internet. Ao analisar o cenário específico da região amazônica, observa-se que o AmazOmnia não enfrenta concorrência direta no que se refere à sua abordagem única de mapeamento de estações rádio base (ERBs). No entanto, é importante considerar o Starlink como um produto indiretamente correlato. O Starlink, uma iniciativa da SpaceX, fundada pelo empreendedor Elon Musk, tem

como principal objetivo oferecer conectividade via satélite em escala global. Embora tanto o AmazOmnia quanto o Starlink se proponham a fornecer acesso à internet em regiões de difícil alcance, suas metodologias e impactos sociais são significativamente distintos. Enquanto o AmazOmnia concentra-se em otimizar a localização de infraestrutura de redes móveis para garantir uma cobertura eficaz, o Starlink aposta em uma rede de satélites para oferecer uma solução de conectividade mais abrangente.

Tecnologia e Metodologia O AmazOmnia utiliza drones equipados com o sistema Falken para mapear pontos de alta potência de sinal de redes móveis, ideal para superar desafios como a densa vegetação da Amazônia. Esse método permite a instalação eficiente de estações rádio base (ERBs) em locais estratégicos. Já o Starlink, da SpaceX, oferece conectividade via satélite, utilizando uma constelação de satélites em órbita baixa para alcançar uma cobertura global. Embora essa abordagem seja menos afetada pela topografia, pode encontrar limitações sob densa cobertura vegetal.

Alcance e Cobertura O AmazOmnia foca em soluções customizadas para regiões específicas, priorizando a precisão no mapeamento de sinais. Por outro lado, o Starlink tem como objetivo oferecer uma cobertura mais ampla, mas com desafios em áreas de folhagem densa.

Modelos de Negócios: B2B vs. B2C A diferença fundamental entre os dois sistemas reside em seus modelos de negócios. O AmazOmnia opera em um modelo B2B, onde seu serviço é oferecido a empresas ou governos que, por sua vez, proporcionam conectividade a um número maior de usuários finais. Isso permite uma implementação mais abrangente e com impacto social significativo, especialmente em comunidades onde a infraestrutura é insuficiente ou inexistente. Em contraste, o Starlink segue um modelo B2C, vendendo diretamente para o consumidor final. Embora isso ofereça a vantagem de uma implementação rápida e direta, pode limitar o acesso em comunidades onde os indivíduos não têm condições de arcar com os custos do serviço.

Impacto Social e Acessibilidade Aqui reside uma diferença fundamental: enquanto o Starlink opera como uma rede privada, o que pode limitar seu impacto para comunidades que não têm condições de adquirir o sistema, o AmazOmnia se apresenta como um negócio de impacto. Ao proporcionar uma solução de conectividade abrangente, ele atende a milhares de usuários simultaneamente, oferecendo um acesso mais inclusivo e sem grandes perdas. Isso é particularmente valioso em regiões como a Amazônia, onde a conectividade não só fomenta o desenvolvimento econômico, mas também é crucial para serviços essenciais como educação e saúde.

Custo e Implantação Embora o AmazOmnia exija a instalação de ERBs, seu modelo de negócio garante que a infraestrutura beneficia um número maior de usuários, distribuindo os custos e maximizando o impacto social. O Starlink,

com seu modelo baseado em assinatura e equipamento individual, pode representar um investimento significativo para os usuários, limitando sua acessibilidade em comunidades menos favorecidas. Impacto Ambiental O AmazOmnia foca na minimização do impacto ambiental, essencial em ecossistemas delicados como a Amazônia. O Starlink, embora ofereça benefícios de conectividade, gera preocupações quanto ao impacto ambiental dos satélites e a questão do lixo espacial. Em resumo, enquanto o Starlink e o AmazOmnia ambos buscam superar desafios de conectividade em áreas remotas, eles se diferenciam significativamente em termos de impacto social e acessibilidade. O AmazOmnia, como um negócio de impacto, oferece uma solução mais inclusiva e abrangente, atendendo às necessidades de comunidades inteiras, ao contrário do modelo mais individualizado e menos acessível do Starlink.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração do protótipo para coleta de dados da eNodeB na rede LTE envolveu a adaptação do microcontrolador SIM808, originalmente baseado no protocolo GSM, visando viabilizar a captura de informações específicas relacionadas às redes LTE. Esse processo demandou a incorporação de cálculos e funcionalidades diretamente no código-fonte do aplicativo, com foco especial na obtenção e análise do RSSI (Received Signal Strength Indicator).

Para avaliar a eficácia e a consistência do protótipo, foram realizados testes em diversas localidades geográficas. Na Ilha das Onças, as medições iniciais na residência de Celso (5.0) indicaram ausência de sinal, resultando em medições instáveis de -90dBm e -100dBm. Esses resultados ressaltam a necessidade de aprimorar a captação em ambientes com menor densidade de sinal. No deslocamento para a Usina Vitória (Figura 5.0), a aproximadamente 1km de distância, as medições apresentaram maior estabilidade variando entre -74dBm e -60dBm em solo, atingindo -54dBm em uma posição elevada na Usina.

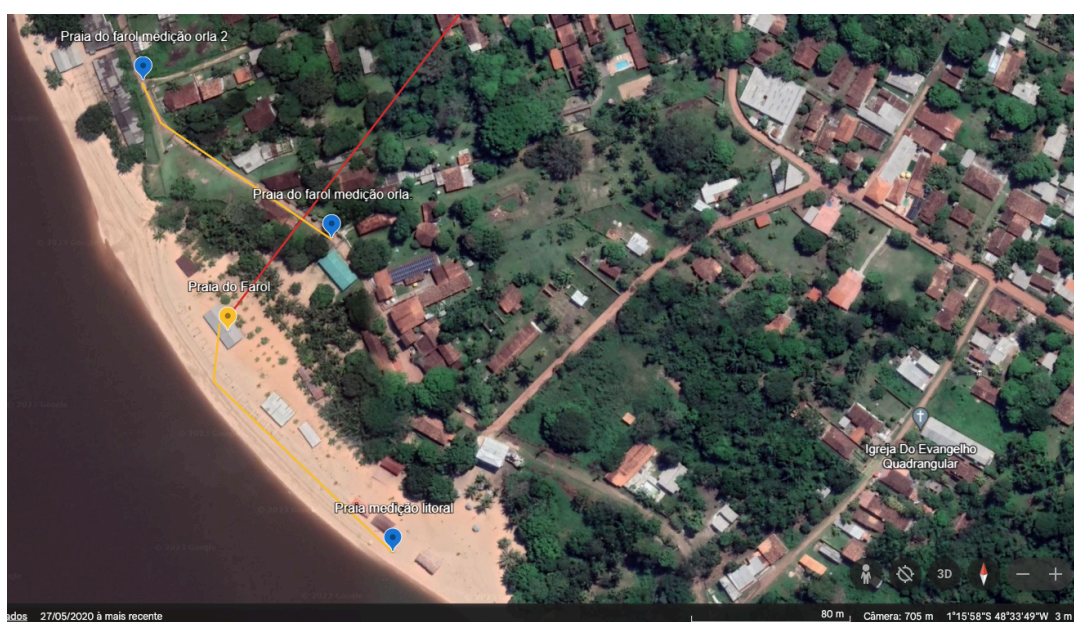
Figura 5.0: Trajeto casa do celso para usina vitória



Fonte: Zenith Inova.

Outro teste foi conduzido na Ilha de Cotijuba, direcionado à avaliação da operadora Vivo em distintas áreas, incluindo a praia do farol (Figura 5.1) e a sede do MMIB (Movimento das Mulheres na Ilha de Belém) (figura 5.2).

Figura 5.1: Localização da potência do sinal RSSI praia do farol



Fonte: Zenith Inova

Figura 5.2: Localização da potência do sinal RSSI MMIB.



Fonte: Zenith Inova

Neste dois locais teve 3 dispositivos para analisar o RSSI, o primeiro é a segunda versão do embarcado do Amazonia, o segundo aparelho de teste é um telefone celular, dispositivo comum no dia a dia e o último é um telefone rural. Foi feito 5 análises desse parâmetro nesses locais onde foi especificado, sendo assim as medições realizadas revelaram uma média de 89,6dBm (Tabela 3) no dispositivo de captura, enquanto outros equipamentos de medição registraram valores de -93,6dBm e -97,4dBm, respectivamente, oferecendo uma base de dados comparativos.

É relevante ressaltar que os testes foram predominantemente executados em solo, à exceção da Usina Vitória, onde se obteve uma posição elevada para as medições. Apesar dos resultados preliminares, que indicaram a adequação do protótipo na captura de sinais de potência em comparação com os equipamentos tradicionais, recomenda-se a continuidade dos estudos para análises mais abrangentes, contemplando variações climáticas e geográficas, com essas variações é possível estimar valor para o ruído branco na qual é de extrema importância para analisar a figura de ruído. Portanto com essas futuras análises tem a possibilidade de aprimorar a compreensão do desempenho do protótipo em diversos contextos operacionais.

Tabela 3: Medidas do RSSI no MMIB

MMIB		
Amazomnia	Telefone Celular	Telefone Rural
-88dBm	-93dBm	-96dBm
-86dBm	-93dBm	-98dBm
-90dBm	-94dBm	-100dBm
-92dBm	-95dBm	-103dBm
-92dBm	-93dBm	-90dBm

Fonte: Zenith Inova.

Tabela 4: Medidas do RSSI na orla da praia do farol

Praia do Farol - litoral		
Amazomnia	Telefone Celular	Telefone Rural
-108dBm	-110dBm	-98dBm
-104dBm	-108dBm	-100dBm
-98dBm	-100dBm	-110dBm
-104dBm	-98dBm	-102dBm
-104dBm	-106dBm	-100dBm

Fonte: Zenith Inova.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o exposto, é evidente que o produto possui uma importância fundamental para a implementação em negócios de impacto, especialmente em regiões onde as redes móveis enfrentam desafios de conectividade. Observou-se um potencial a ser explorado nessas áreas. Os resultados da segunda versão tiveram uma grande importância para a continuidade do produto que agora está na fase de ideação, com esse resultados é notório a possibilidade de estabelecer um *enlace* com a torre de transmissão Dessa forma, com os estudos e a implementação dos cálculos que discutimos é possível estabelecer uma conexão estável nessas regiões com pouca infraestrutura, um exemplo que pode ser mencionado novamente é o primeiro teste realizado na Ilha das Onças. Diante disto, o aplicativo não foi implementado, resultando na ausência dos cálculos do protocolo LTE, embora tenhamos conseguido coletar informações do RSSI, conforme discutido na seção de resultados.

Um ponto relevante nessa fase de desenvolvimento foi a análise realizada na Ilha das Onças. Ao abordarmos redes móveis, particularmente, lidamos com fatores externos, como o ruído branco. Devido à natureza do campo magnético, esses protocolos são suscetíveis a interferências que devem ser consideradas durante a implementação. Desde a comunicação via LoRa, onde enfrentamos dificuldades na transmissão a longas distâncias, até o protocolo GSM para determinar a intensidade do sinal necessário, identificamos desafios relevantes.

Uma contribuição potencial para o futuro é a implementação dos cálculos do protocolo LTE, visando resultados mais concretos, bem como o desenvolvimento de uma dashboard para visualizar com precisão as localizações dos pontos medidos. Essas melhorias podem oferecer insights valiosos para aprimorar a estabilidade e eficácia das redes móveis em cenários desafiadores.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3GPP. LTE Advanced Pro. Disponível em: <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/lte-advanced-pro>. Acesso em: 07 de dezembro de 2023.

Artiza Networks. O que é LTE e NB-IoT? Disponível em: https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/what_lteandnb.html. Acesso em: 07 fev. 2024.

Asiacell Telecom Platform Course. GSM Fundamentals. Asiacell. Disponível em: <https://www.asiacell.com/personal>. Acesso em: 7 de dezembro de 2023.

BORGES, Claudina Silva. Planejamento de rede LTE de baixo custo com uso de repetidor. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletrônica e Telecomunicações) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2015. Orientador: Professor Doutor António João Nunes Serrador. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.21/4464>. Acesso em: 07 dez. 2023.

CABLEFREE. RSRP & RSRQ Measurement in LTE. Disponível em: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/rsrp-rsrq-measurement-lte/>. Acesso em: 07 de dezembro de 2023.

GTA/UFRJ. Modulação e Codificação. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/1_1.html. Acesso em: 07 de dezembro de 2023.

Hong, S. et al. 5G wireless communication systems: prospects and challenges. Kumu Networks; Stanford University, 2014.

KEYSIGHT TECHNOLOGIES. LTE Overview. Disponível em: https://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/lte/content/lte_overview.htm. Acesso em: 07 de dezembro 2023.

NOBRE, Carlos A. Projeto “Amazônia 4.0”: Definindo uma Terceira Via para a Amazônia. [S.l.]: [s.n.], [2019]. Disponível em:

<https://medium.com/fundação-fhc/projeto-amazônia-4-0-definindo-uma-terceira-via-para-a-amazônia-46d221951ac6>. Acesso em: 07 dez. 2023.

OLIVEIRA, Lucas R. de; CONCEIÇÃO, Arlindo F. da; NETO, Lauro P. S. Revisão sistemática da literatura sobre aplicações das tecnologias LoRa e LoRaWAN. Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, Brazil. {restivo.lucas, arlindo.conceicao, lauro.paulo}@unifesp.br.

SHEYHUS, Valentyna. Coexistência de redes LTE e IEEE 802.11: Avaliação de desempenho. Universidade NOVA de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2021.

STANKIWICH, Marcia Regina. Solução para Atendimento de Sinal de Operadora Móvel em Locais Sem Cobertura. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9715>. Acesso em: 07 dez. 2023.

TAMEIRÃO, Thainan Tammy. Mapeamento da área de cobertura do sinal 4G de telefonia móvel na cidade de Itaqui-RS. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2018. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/6840/1/Thainan%20Tammy%20Tameirão%20-%202018.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2023.

TELECO. Tutorial LTE (4G). Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_1.asp. Acesso em: 07 de dezembro de 2023.