



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JADER JOSÉ DA SILVA

**PROPOSTA PARA CRIAÇÃO DE INTERFACE DE SIMULAÇÃO,
CONTROLE E CORREÇÃO DE PARAMETROS DE RÁDIO ENLACE**

CUIABÁ-MT

12, 2022

JADER JOSÉ DA SILVA

**PROPOSTA PARA CRIAÇÃO DE INTERFACE DE SIMULAÇÃO,
CONTROLE E CORREÇÃO DE PARAMETROS DE RÁDIO ENLACE**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Dr. Saulo Roberto Sodré dos reis

CUIABÁ-MT

12, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586p Silva, Jader José da.

Proposta para criação de interface de simulação, controle e correção de parâmetros de rádio enlace [recurso eletrônico] / Jader José da Silva. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 60 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientador: Saulo Roberto Sodré dos Reis.

TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Interface computacional, Rádio enlace, correção, simulação. I. Reis, Saulo Roberto Sodré dos, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

DESPACHO

Processo nº 23108.105591/2022-21

Interessado: @interessados_virgula_espaco@

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA: PROPOSTA PARA CRIAÇÃO DE AMBIENTE DE SIMULAÇÃO, CONTROLE E CORREÇÃO DE RÁDIO ENLACE

ALUNO: Jader José da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 19 de dezembro de 2022.

Nota final: 9,13

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo Roberto Sodré dos Reis
Orientador

Prof. Dr. Jakson Paulo Bonaldo
Examinador

Prof. Dr. Jorge Luiz Brito de Faria
Examinador



Documento assinado eletronicamente por **SAULO ROBERTO SODRE DOS REIS, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 19/12/2022, às 20:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JAKSON PAULO BONALDO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 19/12/2022, às 20:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JORGE LUIZ BRITO DE FARIA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 19/12/2022, às 20:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5390115** e o código CRC **4E218959**.

DEDICATÓRIA

Este trabalho de pesquisa é inteiramente dedicado aos meus pais. Os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado.

Dedico também a todos os profissionais da área de engenharia, em especial o departamento da engenharia elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso por total apoio nessa empreitada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente em cada passo até aqui, permitindo que eu pudesse chegar até onde cheguei.

Aos meus amigos e colegas que se fizeram presentes em cada momento tornando a caminhada até aqui mais leve e tranquila.

E por fim agradeço ao meu orientador, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

RESUMO

SILVA, J. Jader. **PROPOSTA PARA CRIAÇÃO DE AMBIENTE DE SIMULAÇÃO, CONTROLE E CORREÇÃO DE RÁDIO ENLACE**. 2022. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2022.

A crescente expansão dos sistemas de telecomunicação gerou com sigio, uma série de problemas relacionados as maneiras administrativas dos sistemas de radioenlace. Isso pois muitos links de rádio não utilizam qualquer método de gerência ou correção, o que torna as manutenções difíceis e extensas, tendo em vista que as equipes responsáveis pelo trabalho de campo, muita das vezes, realizam visitas e vistorias aos sistemas estação a estação em busca de defeitos. Não só isso, mas continuamente sistemas de radioenlace ao redor de todo mundo sofrem com desgastes e montagens errôneas, o que debilita ainda mais as características do sistema. Visando tornar, tratar da criação de uma interface de simulação, controle e correção de rádio enlace. Fazendo uso de conceitos e equações da rádio propagação em especial o modelo prático de Okumura Hata, que junto com uma estação de aquisição de dados realiza a correção dos valores obtidos no link de rádio, para aproximação dos valores simulados aos valores reais. A partir dos dados coletados, pode-se estimar com melhor relação as condições em tempo real do rádio enlace, o que permite entregar um relatório completo e ainda juntamente com um sistema de posicionamento, orientar a antena de maneira a obter o melhor ganho para cada situação de link, gerando um relatório completo de todo sistema com base no melhor posicionamento. Permitindo acompanhar os dados de maneira mais precisam e que permitam uma gerência de todo o sistema de uma maneira mais concisa.

Palavras-chave: Interface computacional, Rádio enlace, correção, simulação.

ABSTRACT

The growing expansion of telecommunication systems has generated with it a series of problems related to the administrative methods of radiolink systems. This is because many radio links do not use any method of management or correction, which makes maintenance difficult and extensive, considering that the teams responsible for fieldwork often carry out visits and inspections of the systems station by station in fault finding. Not only that, but radio link systems around the world continually suffer from wear and tear and erroneous assembly, which further weakens the system's characteristics. Aiming at making it, dealing with the creation of a radio link simulation, control and correction interface. Making use of concepts and equations of radio propagation, in particular the practical model of Okumura Hata, which together with a data acquisition station performs the correction of the values obtained in the radio link, to approximate the simulated values to the real values. From the collected data, it is possible to better estimate the conditions in real time of the radio link, which allows to deliver a complete report and also, together with a positioning system, orient the antenna in order to obtain the best gain for each link situation, generating a complete report of the entire system based on the best placement. Allowing to follow the data in a more precise way and that allow a management of the entire system in a more concise way.

Keywords: Computational interface, Radio link, correction, simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Elaborada conforme NBR 14724.

Desenhos, esquemas, fluxogramas, fotografias, gráficos, mapas, organogramas, plantas, quadros, retratos e outras.

FIGURAS

Figura 1: Componentes básicos de um sistema de rádio comunicação. Fonte: SOARES e SILVA.	21
Figura 2: Potência em link de rádio frequência. Fonte: <i>Path loss link budget</i>	25
Figura 3: Modelo teórico para reflexão de uma onda de rádio. Fonte: Todo estudo.	26
Figura 4: Fenômeno de difração. Fonte: Ariteramo.	27
Figura 5: Zona de Fresnel. Fonte: GuvenlinkOnline.	27
Figura 6: Antena isotrópica. Fonte: OpenClassrooms.	30
Figura 7: Influência na diretividade no feixe de irradiação da antena. Fonte: ASSIS.	30
Figura 8: Diagrama de radiação típicos. Fonte: SOARES; SILVA.	31
Figura 9: Diagrama de irradiação. Fonte: Medium.	31
Figura 10: Antena dipole. Fonte: EverythingRF.	32
Figura 11: Diagrama de irradiação Yagi. Fonte: Automações.	32
Figura 12: Antena Yagi. Fonte: Comnet.	33
Figura 13: Mecânismo Pan-tilt. Fonte: FilipeFlop.	33
Figura 14: Antena tracking. Fonte: Project hub.	34
Figura 15: Arduino pro mini. Fonte: FilipeFlop.	35
Figura 16: Encapsulamento do software. Fonte: Do autor.	38
Figura 17: Esquema simplificado requisição e resposta front-end. Fonte: Do autor.	39
Figura 18: Esquema simplificado arquitetura do back-end. Fonte: Do autor.	40
Figura 19: Cálculo de perda por caminho. Fonte: Do autor.	42
Figura 20: Algoritmo de alinhamento das antenas. Fonte: Do autor.	43
Figura 21: Controle manual e automático do algoritmo de alinhamento. Fonte: Do autor.	43
Figura 22: Esboço dos campos da interface gráfica. Fonte: Do autor.	44
Figura 23: Interface gráfica. Fonte: Do autor.	45
Figura 24: Vista da interface gráfica de um smartphone. Fonte: Do autor.	45
Figura 25: Diagrama de funcionamento do protótipo. Fonte: Do autor.	47

Figura 26: Esquema simplificado da estação de aquisição de dados e controle. Fonte: Do autor.	48
Figura 27: Esquema eletrônico Estação de aquisição de dados. Fonte: Do autor.	49
Figura 28: Placa de circuito impresso. Fonte: Do autor.	49
Figura 29: Placa de circuito impresso concluída. Fonte: Do autor.	50
Figura 30: Montagem final da estação de aquisição de dados e controle do lado de controle. Fonte: Do autor.	50
Figura 31: Vista aérea dos pontos selecionados para simulação e testes. Fonte: google earth.	52
Figura 32: Configuração de testes. Fonte: Do autor.	53
Figura 33: Infraestrutura da torre para montagem da estação de controle. Fonte: Do autor.	53
Figura 34: Estação subordinada. Fonte: Do autor.	54
Figura 35: Vista da interface do sistema. Fonte: Do autor.	55
Figura 36: Vista da interface do sistema. Fonte: Do autor.	55

LISTA DE TABELAS

Elaborada conforme NBR 14724.

Elaborada de acordo com a ordem apresentada no texto, com cada item designado por seu nome específico, acompanhado do respectivo número da folha ou página.

As tabelas são elaboradas conforme Norma do IBGE (Normas de apresentação tabular).

Tabela 1: Aspectos gerais de rádio propagação. Fonte: Pereira	21
Tabela 2: Hardware arduino pro mini. Fonte: Arduino	36
Tabela 3: Recursos front-end. Fonte: Do autor.	39
Tabela 4: Recursos do back-end. Fonte: Do autor.....	41
Tabela 5: Pontos para análise do rádio enlace. Fonte: Do autor.....	52
Tabela 6: Força do sinal rx do lado da estação de controle. Fonte: Do autor.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Elaborada conforme a NBR 14724.

Consiste na relação alfabética das abreviaturas e siglas utilizadas no texto, seguidas das palavras ou expressões correspondentes grafadas por extenso.

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
VNA	Analizador Vetorial de Rede
LORA	Longo Alcance
PWM	Modulação por Largura de Pulso
PTMP	Ponto multiponto

Sumário

1	CAPÍTULO INTRODUÇÃO	17
1.1	INTRODUÇÃO	17
1.2	PROBLEMÁTICA.....	18
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
1.4	OBJETIVOS.....	19
1.4.1	Objetivos geral	19
1.4.2	Objetivo específico	19
2	CAPÍTULO CONCEITOS BÁSICOS DA RÁDIO FREQUÊNCIA	20
2.1	INTRODUÇÃO	20
2.2	MODELOS DE PROPAGAÇÃO	22
2.2.1	Modelos teóricos.....	22
2.3	MODELOS BASEADOS EM MEDIÇÕES	23
2.3.1	Modelo de Okumura Hata	23
2.4	CÁLCULO DE PERCAS E GANHOS DO RÁDIO ENLACE	24
2.4.1	Reflexão	26
2.4.2	Difração	26
2.4.3	Zona de Fresnel.....	27
2.5	ANTENAS	28
2.6	SISTEMA DE RASTREAMENTO	33
2.7	MICROCONTROLADORES.....	34
2.7.1	Arduino pro mini	35
3	CAPÍTULO INTERFACE GRÁFICA.....	37
3.1	INTRODUÇÃO	37
3.2	FRONT-END	38
3.3	BACK-END	40
3.3.1	Algoritmo de perca de caminho.....	41

3.3.2	Algoritmo de alinhamento das antenas.....	42
3.4	CONSTRUÇÃO DA INTERFACE GRÁFICA	44
4	CAPÍTULO 4.....	46
4.1	INTRODUÇÃO	46
4.2	AQUISIÇÃO DOS DADOS	46
4.3	SISTEMA DE CONTROLE PAN TILT	47
4.4	COMPONENTES DE HARDWARE.....	47
5	CAPÍTULO ENSAIOS E TESTES.....	51
5.1	INTRODUÇÃO	51
5.2	CENÁRIO DE TESTES.....	51
5.3	RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DAS MEDIÇÕES	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
6.1	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	59

1 CAPÍTULO INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Com o advento da rádio comunicação o ser humano pôde estabelecer comunicações que eram até então impossíveis. Uma das primeiras transmissões feita na história feita pelo cientista Italiano Guglielmo Marconi na data de 12 de Dezembro de 1901, inaugurou a comunicação a longas distância estabelecendo a comunicação entre dois continentes separados a 3000km de distância. Marconi ainda declarou que “confirma-se o fato no qual acreditei por tanto tempo: não existe distância na Terra que as comunicações para o rádio não possam conquistar” (MARCONI, 1901). Desde então, o sucesso desenfreado dos sistemas de telecomunicação vem crescendo exponencialmente, ligando vastos territórios e até mesmos continentes inteiros.

O grande avanço na eletrônica e tecnologias da comunicação sem fio permitiram que os sistemas de telecomunicações pudessem se tornar cada vez mais modernos, eficientes e cada vez mais abrangentes. Atualmente, existem uma série de tecnologias baseadas na infraestrutura de sistemas de telecomunicação, sendo popularmente conhecidas como tecnologias sem fio.

Softwares como Rádio Mobile¹, Celpan², LinkPlanner³ compõem um nicho de programas computacionais que são capazes de simular links de rádio comunicação. Sendo o primeiro Rádio Mobile um software de código aberto, que é utilizado ainda atualmente, apesar de sua interface desatualizada, utilizado na predição de sinais de radioenlace. Já softwares mais modernos como Celplan e LinkPlanner, apresentam a mesma finalidade do rádio mobile com a diferença de serem mais atualizados e requerem licença para operação. Contudo apesar de serem ferramentas indispensáveis para modelagem dos sistemas de rádio comunicação, podem ocorrer situações em que o software não é assertivo em suas predições dos parâmetros de radioenlace, acabando por falhar em alguns cenários, isso se deve em grande parte pois os sistemas de telecomunicação apresentam muitas variáveis, fazendo com que o estudo teórico de cada caso possa mudar em situações que não contemplem a simulação.

À medida que os sistemas de telecomunicação se tornam mais avançados, complexidades vão sendo inseridas, tornando o sistema complexo e difícil de se gerenciar e administrar. Detalhes esses que muitas vezes precisam ser vislumbrados desde o momento da

¹ O software Radio Mobile é um copyright de Roger Coudé VE2DBE, destinado ao estudo de rádio propagação amador e humanitária.

² Ferramenta de design de rede que permite aos usuários projetar e validar a maioria dos tipos de redes sem fio.

³ Ferramenta de planejamento de link de RF online gratuita para projetar redes com serviço da Web

concepção do rádio enlace, até o gerenciamento do sistema. Se já não bastasse tantas adversidades, trabalhar em sistemas de telecomunicação, ocasionalmente, significa trabalhar em alturas elevadas, o que é dispendioso, fazendo das manutenções em antenas serem lentos. Isso se traduz na dificuldade em realizar correção das coordenadas das antenas para equipe de manutenção. Vale ressaltar que trabalhar em altura requer certificação NR35 o que torna a mão de obra escassa e cara devido ao alto risco do trabalho

Visando tornar a tarefa de simulação, manutenção e testes mais simples, a interface proposta, conta com um modulo de coleta de dados do sistema de rádio enlace, que continuamente realiza as medidas mais importantes do sistema de rádio, apresentando medidas e estatísticas real do rádio enlace que podem ser inseridos no ambiente de rede. Contando ainda com um sistema de controle da antena, responsável por realizar correções de posicionamento nas antenas, fazendo com que as manutenções ocorram apenas em casos estritamente necessários.

1.2 PROBLEMÁTICA

Sistemas de telecomunicações avançados, principalmente em sistemas de na faixa HF/VHF, são continuamente distribuídos sem quaisquer métodos de análise da qualidade de rádio enlace, o que faz com que sistema que foram projetados para ter um desempenho específico, tenham performance bem abaixo do esperado.

Contudo o projeto em questão visa mitigar os efeitos de um rádio enlace mal calibrado, apresentando medidas e estatísticas que fornecem ao projetista o desempenho real do sistema de rádio enlace, juntamente com um sistema de controle de ângulo das antenas, permitindo ao sistema encontrar o ponto ideal de funcionamento para o sistema.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os cenários que empregam enlace de radiofrequencia são mais amplos possíveis, partindo desde pequenos sistemas de curtas distâncias até sistemas de grande porte que interligam uma cidade, estado ou até mesmo um país. O que por sua vez gera uma infinidade de problemas relacionados a manutenção corretiva e preventiva das estações de rádio.

Usualmente lidar com sistemas de grande porte exigem vistorias frequentes em altura, já que as antenas operam montadas externamente nas torres, o que por sua vez leva tempo para ser analisado, devido a complexidade do trabalho e números de sites a serem vistoriados

A tecnologia atual, como VNA, analisadores de espectro, wattmetro entre outros, são utilizados como dispositivos de medidas pontuais, mas não medem a qualidade do rádio enlace como um todo. Algumas outras tecnologias embarcadas como dashboard presente em alguns

rádios ponto a ponto de provedores de Internet permite sim algumas informações do link de rádio, contudo além de ser uma tecnologia prioritária, é apresentado apenas em alguns nichos de aparelhos.

Outro aspecto importante levado em consideração como explica Pereira (2007, p.46) “qualquer modelo de propagação quando de sua utilização necessita de um ajuste no nível de sinal estimado pelo modelo, isto é realizado utilizando medidas reais coletadas no ambiente de propagação específico”. Em geral um o sistema de predição não apresenta os valores bem otimizados para cada região apresentando um erro que deve girar em torno de 8dB, (PEREIRA, 2007, p.136). O que permite que projeto em questão seja mais preciso, já que usa os valores reais do link de rádio enlace.

Nesse contexto o uso de um instrumento representado por um conjunto de software e hardware é capaz de realizar simulações, testes e correções de antena, melhorar a performance do sistema de telecomunicação e ainda minimizam deslocamentos desnecessárias e relatórios de manutenção mais precisos, gerando economia e confiabilidade no sistema. O que pode ser amplamente difundido as inúmeras estações de rádio enlace.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos geral

Implementar um conjunto de software e hardware de controle e simulação de rádio enlace que seja capaz de gerenciar parâmetros importantes do link de rádio, como potência de transmissão, ganho de antenas, perda do sinal por caminho e potência recebida absoluta, para isso fora necessário desenvolver os seguintes módulos.

Programar interface para leitura e controle dos dados (*front-end*)

Criar módulos de testes para aquisição de dados, utilizando Arduino e rádio LORA que se conecta ao software

1.4.2 Objetivo específico

Para realização do protótipo serão necessários alguns conceitos bem definidos, sendo respectivamente descritos.

- 1- Estudo dos modelos de rádio propagação;
- 2- Fenômenos de interferência da onda de rádio;
- 3- Estudo dos conceitos construtivos das antenas;
- 4- Implementação e testes do protótipo.

2 CAPÍTULO CONCEITOS BÁSICOS DA RÁDIO FREQUÊNCIA

O capítulo em questão introduz os conceitos básicos dos fenômenos por trás da rádio propagação, perdas e ganhos no sistema de rádio enlace e estudo das antenas e suas características básicas.

2.1 INTRODUÇÃO

Compreender a natureza do sinal de rádio é sempre uma incógnita, já que o estudo de rádio propagação tem inúmeras variáveis inseridas que tornam o processo de predição e cálculo complexos (PEREIRA, 2007, p.3). Para tanto, existem diversos estudos de rádio propagação, que tem por finalidade aproximar a previsibilidade no momento de projeto e dimensionamento de um sistema de rádio. Cada método em si requer que compreenda-se o tipo de aplicabilidade e frequência de operação do sistema ao qual serão aplicadas.

Como cada cenário em particular representa uma aproximação diferente, comunicações terrestres, tem-se uma característica de que os sinais dos sistemas podem sempre tomar dois principais caminhos, os diretos em que o sinal do transmissor “caminha” diretamente ao receptor sem sofrer nenhum atraso, e o refletido que ao sofrer um desvio de trajetória encaminha-se atrasado ao receptor, tal característica se torna mais ou menos intensa de acordo com a frequência de operação do sistema.

Em geral cada frequência dos sistemas irradiantes apresenta características diferentes que permitem aplicações distintas, conforme pode ser visto na tabela 1.

Faixa de frequência	Designação	Aplicações típicas
3 – 30KHz	VLF – <i>Very low Frequency</i>	navegação em longas distâncias, comunicações submarinas
30 – 300KHz	LF – <i>Low frequency</i>	navegação em longas distâncias, rádio farol marítimo
300 – 3000KHz	MF – <i>Medium frequency</i>	AM comercial, rádio marítimo, frequências de emergência
3 – 30MHz	HF – <i>High frequency</i>	rádio amador, comunicações militares, <i>broadcasting</i> internacional, comunicações com aviões e navios em grandes distâncias
30 – 300MHz	VHF – <i>Very high frequency</i>	televisão VHF, rádio FM, comunicações AM aérea, auxílio à navegação aérea
3000 – 30000MHz	UHF – <i>Ultra high Frequency</i>	televisão UHF, radar, enlaces de microondas, auxílio à navegação
3 – 30GHz	SHF – <i>Super high frequency</i>	comunicações por satélite, enlaces de microondas e radar

30 – 300GHz	EHF – <i>Extra high frequency</i>	radar, satélite experimental.
-------------	-----------------------------------	-------------------------------

Tabela 1: Aspectos gerais de rádio propagação. **Fonte:** Pereira

De maneira simplificada, pode-se compreender o enlace do sistema de rádio como sendo um conjunto de dispositivos que formam comunicação utilizando o meio como caminho da informação, para tanto conforme estabelece (SOARES; SILVA, 2003).

A informação a ser transmitida é inserida em uma portadora de radiofrequência (RF) no equipamento transmissor. A energia associada a portadora de (RF) modulada é enviada, por meio de uma linha de transmissão especial, para a antena transmissora, onde é, finalmente, radiada para o espaço na forma de uma onda eletromagnética. Antenas receptoras, quando colocadas no caminho da onda eletromagnética, absorvem parte da sua energia e a enviam para um equipamento receptor, que recupera a informação.

Para ilustrar com maior clareza pode ser visto o esquema simplificado de um enlace de rádio comunicação na figura 1.

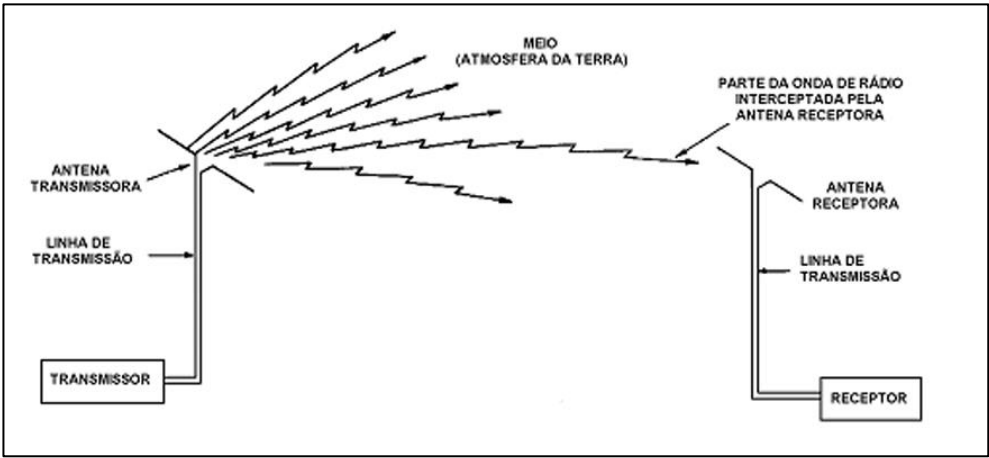


Figura 1: Componentes básicos de um sistema de rádio comunicação. **Fonte:** SOARES e SILVA.

Todos os elementos de radioenlace desempenham papel crítico na comunicação, mas o projeto em questão visa em atuar especificamente sob a antena, já que a mesma é a “parte desse sistema construída de modo a maximizar ou a acentuar a radiação de energia e, ao mesmo tempo, minimizar ou suprimir a energia restante “(SOARES; SILVA). Dessa forma o sistema composto de software e hardware, atua de maneira a maximizar os ganhos do sistema, mediante mudanças na direção das antenas.

2.2 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Para cada tipo de rádio enlace em particular, exige durante o planejamento preditivo, modelos matemáticos distintos que efetuem a mais correta previsão possível. Isso pois cada modelo estima a perda de sinal em ambientes distintos. Para tanto existem duas principais vertentes que são abordadas no estudo de rádio propagação.

2.2.1 Modelos teóricos

Como o próprio nome sugere, os modelos teóricos, são advindos de formulações elementais do ramo da física que descrevem o efeito da rádio propagação. O que por sua vez podem causar alguns problemas de predição conforme afirmado por Castro (2010, p) “Alguns tipos de modelos teóricos não se tornam viáveis para o planejamento de redes sem fio por não levarem em consideração características específicas do ambiente em estudo”.

Um dos modelos mais simples e uso de base para os mais variados modelos de propagação ficam por conta da equação de Friis, que conforme Yun (2015, p) relaciona a potência recebida com a frequência do sistema, potência de transmissão, distância entre os pontos, (assumindo valores de antenas com impedância e polarização idênticas), segundo a equação [1]

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad [1]$$

Ao analisar a equação [1], observa-se alguns termos bem conhecidos na rádio propagação, sendo a potência de transmissão P_t , ganho de antena transmissora e receptora respectivamente G_t e G_r e ainda os parâmetros de comprimento de onda λ e distância entre os links formado entre receptor e transmissor d .

Tal equação [1] descreve a relação de rádio propagação na regiões de espaço livre conforme apresentado por (CASTRO, 2011), ou em outras palavras, a equação de Friis descreve com satisfação regiões onde o transmissor e receptor experimentem um espaço completamente livre de quaisquer obstruções.

A necessidade em se obter cada vez mais precisão nos modelos preditivos de radioenlace, fez com que, ao longo dos anos fossem desenvolvidos modelos teóricos de maior precisão como *ray tracing* que segundo Yun (2015, p.).

É baseado em a óptica de raios que resolve as equações de Maxwell em alta regime de frequência. Assim, o método de rastreamento de raios é uma ferramenta geral de modelagem de propagação que

fornece estimativas de perda de caminho, ângulo de chegada/partida e atrasos de tempo.

Apesar de fornecer uma aproximação mais precisa dos modelos, requerem uma descrição detalhada do ambiente como construções (VITUCI *et al*, 2015). Isso faz com que toda a resolução do modelo de *ray tracing* tenha cálculos complexos que só possam ser revolidos mediante processamento digital (YUN, 2015), limitado-o a apenas algumas poucas aplicações, principalmente a cenários *indoor*⁴.

2.3 MODELOS BASEADOS EM MEDIÇÕES

Devido as limitações causadas pelos modelos teóricos, foram surgindo ao longo dos anos modelos de previsão mais sofisticados, que surgiram a partir de testes reais em ambientes controlados. Isso fez com que surgissem modelos de rádio propagação mais modernos e precisos, capazes de representar com maior precisão os parâmetros de radioenlace, nos cenários específicos de rádio propagação.

Tais modelos apresentam a simplicidade ao seu lado, mas contam com limitações para cada tipo de aplicação, sendo o projetista do sistema de rádio responsável por designar cada tipo de modelo mais eficaz para cada situação.

2.3.1 Modelo de Okumura Hata

Sendo uma versão estendida e melhorada do modelo de Okumura, o modelo de Okumura Hata se baseia em estudos empírico baseado em uma extensa campanha de medições realizada no Japão no fim dos anos sessenta (PEREIRA, 2007).

Por se tratar de um modelo que “leva em consideração a morfologia sem detalhamento, isto é, utiliza “manchas” morfológicas para diferentes ambientes de propagação como área suburbana, área urbana, área urbana densa, área rural, etc. ”(PEREIRA, 2007). Tais característica permitiu que fosse a guia de cálculos primordiais para os cálculos de perca por caminho utilizado no projeto.

Os cálculos são válidos para uma faixa de frequência que vão desde a frequência de 150MHz até 1500MHz, alturas da estação rádio base que vão desde 30 – 200m e alturas de terminal móvel que vão desde 2 – 10m. Logo pode-se calcular a perca por caminho utilizando o método de Okumura Hata deve-se atentar a uma série de características, e entre elas o tipo de

⁴Interior, algo que ocorre em ambiente fechado.

espaço que o sinal irá se propagar. Para áreas rurais sem obstruções, pode-se determinar a perda por caminho como a equação [2].

$$\Delta L = L - 4,78(\log(f)^2 - 18,33 \log(f)) - 40,98 \quad [2]$$

Já para áreas urbanizadas a equação se limita a [3].

$$\Delta L = L - 2(\log(f/28))^2 - 5,4 \quad [3]$$

Faz-se necessário também determinar as perdas médias de propagação, que são dadas pela equação [4].

$$L = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})) \log(d) \quad [4]$$

Onde, f é a frequência de operação do canal em MHz , a altura da antena transmissora e receptora é dada respectivamente por h_{te} e h_{re} , a distância de separação d e por fim o fator de correção, que fornece o ajuste da equação com a aplicabilidade estudo em cada caso em particular, como rádio propagação em ambiente urbano denso ou normal e ainda para zonas abertas, o que muda em cada uma das situações

Para cálculo do fator de correção $a(h_{re})$, pode-se utilizar as seguintes expressões, aplicando cada restrição ao caso em particular.

Para região urbana o fator de correção é dado pela equação [5].

$$a(h_{re}) = (1,1 \log(f) - 0,7)h_{re} - (1,56 \log(f) - 0,8) \quad [5]$$

Para regiões urbanas densas com frequência abaixo de $300MHz$ o fator de correção é estipulado pela equação [6].

$$a(h_{re}) = 8,29((\log(1,54h_{re}))^2 - 1,1)h_{re} \quad [6]$$

Já na equação [7] o fator de correção de regiões urbanas densas com frequência acima de $300MHz$.

$$a(h_{re}) = 3,2((\log(11,75h_{re}))^2 - 4,97)h_{re} \quad [7]$$

O valor de perda por caminho ΔL da equação [2] é expresso em dB, o que facilita os cálculos já que todas as demais grandezas de rádio enlace são expressão em escala logarítmica.

2.4 CÁLCULO DE PERCAS E GANHOS DO RÁDIO ENLACE

Se tratando de rádio propagação existem inúmeras variáveis que fogem do controle do projetista, por mais avançado que sejam os modelos de propagação. Isso pois existem inúmeros efeitos na rádio propagação que enfraquecem e limitam o alcance do link.

Um link de rádio pode ser definido como um conjunto de percas e ganhos ao longo de um percurso, conforme pode ser visto na **Figura 3**.

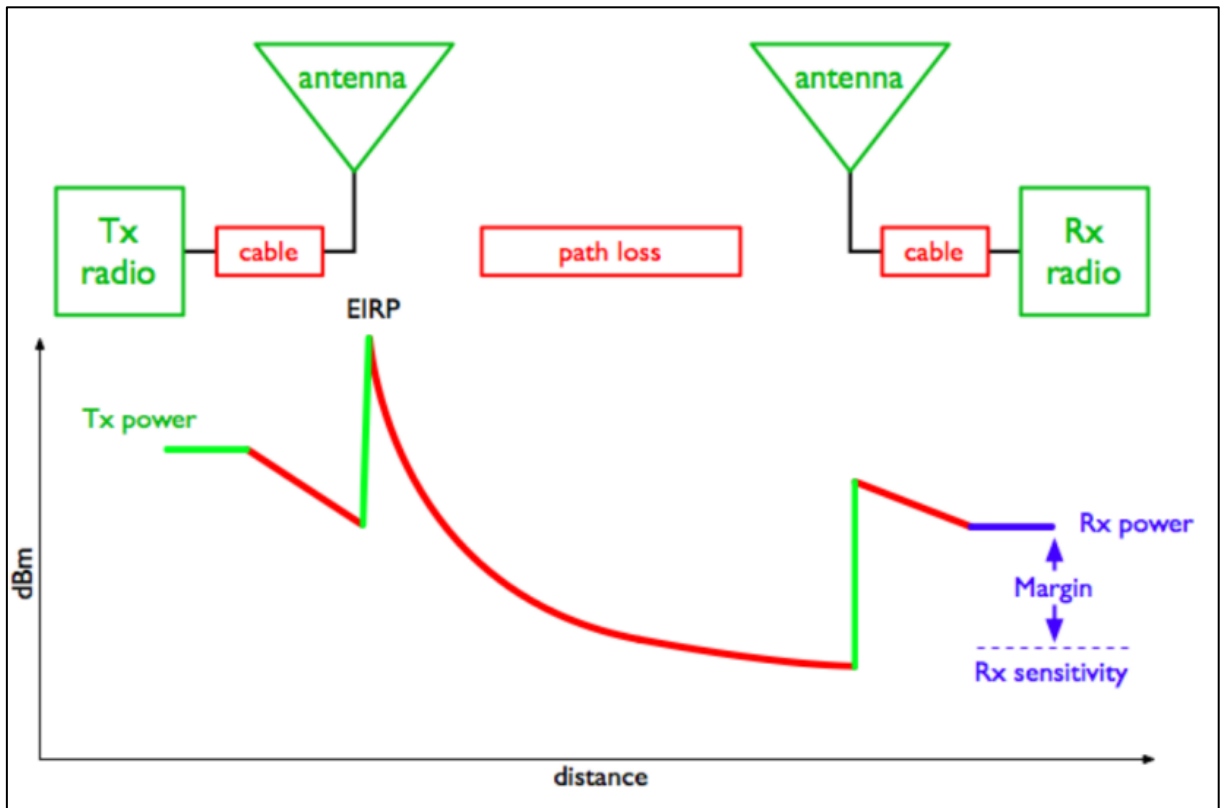


Figura 2: Potência em link de rádio frequência. **Fonte:** Path loss link budget.

O link formado entre o transmissor e receptor do sistema pode ser descrito matematicamente como.

$$RX_{power}(dbm) = TX_{power}(dbm) + G_{anhos}(dB) + P_{ercas}(dB)$$

Os ganhos são fornecidos pelos ganhos característicos das antenas do rádio enlace, que são parâmetros construtivos das antenas e que podem variar em casos de desalinhamento das mesmas.

Já as percas ficam por conta dos cabos que interligam o sistema e a perca pelo caminho que descreve o quanto o sinal é degradado ao ser emitido pela antena transmissora. Dessa forma a perca do caminho que é definido como a relação entre a potência transmitida e recebida $\frac{P_t}{P_r} = \Delta L$. Juntamente aos efeitos de perca por caminhos estão inseridos alguns fenômenos de onda caracterizados como interferência já que causam degradação do sinal original transmitido aumentando ainda mais a perca por caminho.

2.4.1 Reflexão

A natureza da reflexão das ondas faz com que o sinal a ser interceptado por um corpo “com grandes dimensões se comparado ao comprimento de onda do sinal que se propaga” (CASTRO, 2015), sofre uma mudança de trajetória de acordo com a incidência no ponto, conforme **Figura 3**, evidenciando que o sinal de rádio ao atingir um obstáculo agora muda sua trajetória original e passa a ser refletido em outra direção, contudo parte do sinal ainda é absorvido ao meio e tem sua trajetória alterada também.

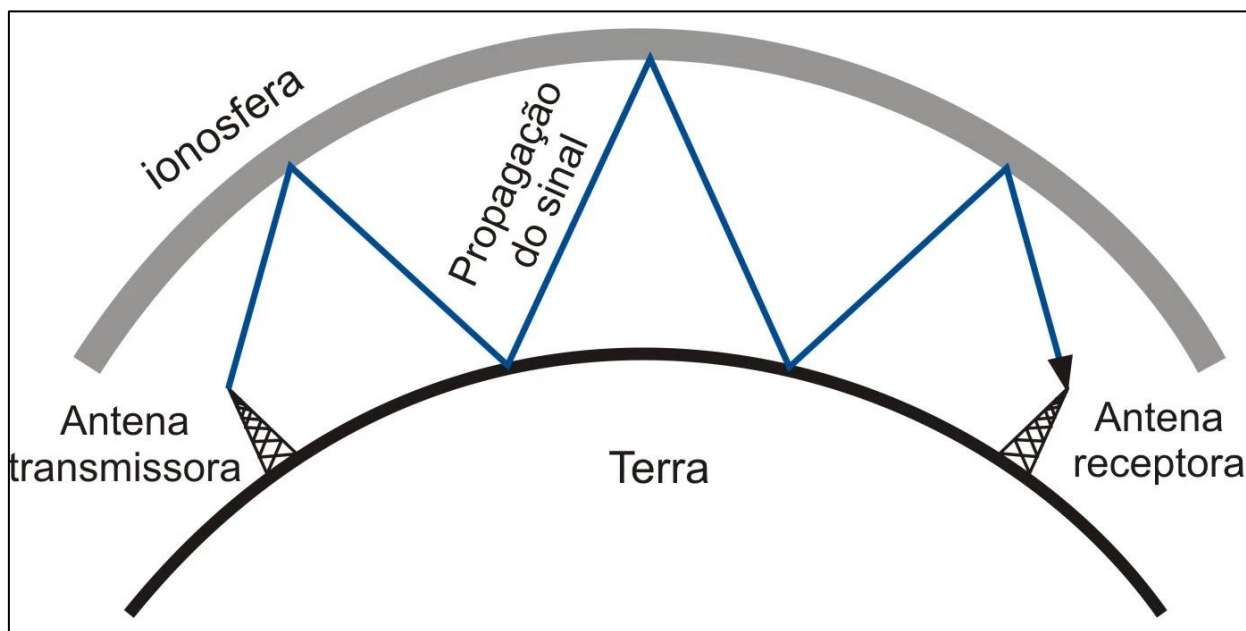


Figura 3: Modelo teórico para reflexão de uma onda de rádio. **Fonte:** Todo estudo.

Se tratando de grandes obstáculos como montanhas ou prédios a onda que sofre mudança no meio pode ser desconsiderada.

Vale destacar que em alguns cenários como radiocomunicação em baixa frequência se faz uso dessa característica de reflexão para comunicações a longas distância onde o sinal de rádio é refletido na ionosfera e solo até ser interceptado por uma antena receptor ao qual cria-se um canal de rádio de comunicação global.

2.4.2 Difração

O efeito da difração é o fenômeno físico que explica a mudança de direção da onda, quando obstruída por um obstáculo de dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda, o que permite que em algumas dadas ocasiões específicas zonas escuras⁵ do sinal direto de rádio frequência, ainda sim experimentem quantidades uteis de energia.

⁵ Região muito próximas a grandes obstruções que não tem caminho direto com o transmissor do sinal.

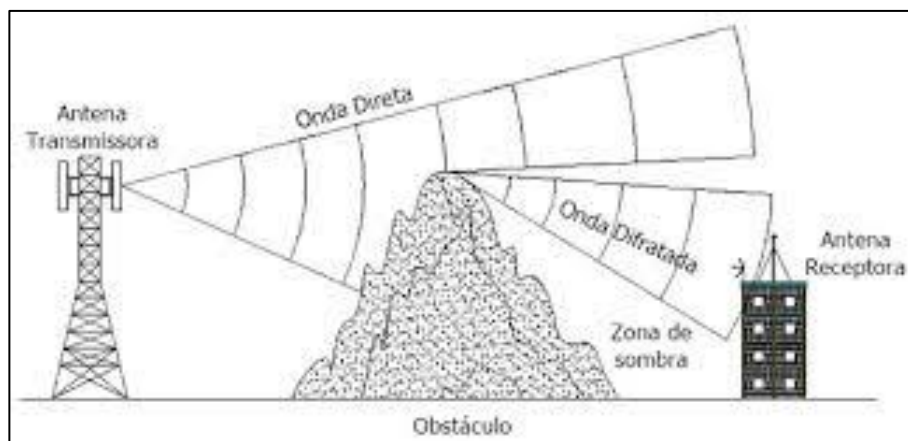


Figura 4: Fenômeno de difração. **Fonte:** Ariteramo.

O comportamento das ondas difratadas é explicado pelo princípio de Huygens, “que estabelece que todos os pontos de uma frente de onda podem ser considerados como fontes que produzirão pequenas ondas secundárias, e estas quando combinadas resultam em uma nova frente de onda” (CASTRO, 2010).

2.4.3 Zona de Fresnel

Em condições ideais o enlace perfeito é obtido quando o trajeto entre o transmissor e receptor encontra-se totalmente desobstruído. Ocasionalmente tais condições são dificilmente encontradas, já que na prática existem grandes dificuldade em determinar pontos de enlace completamente livres. O grau de obstrução da zona de Fresnel pode ser calculado, a fim de se obter um parâmetro de sucesso mais sólido no dimensionamento do rádio enlace.

A zona de Fresnel por sua vez é uma importante ferramenta de rádio enlace que representa sucessivas regiões que garantem o correto desempenho do rádio enlace. A **Figura 5** elucida exatamente a elipsoide da zona de Fresnel e seus pontos relevantes.

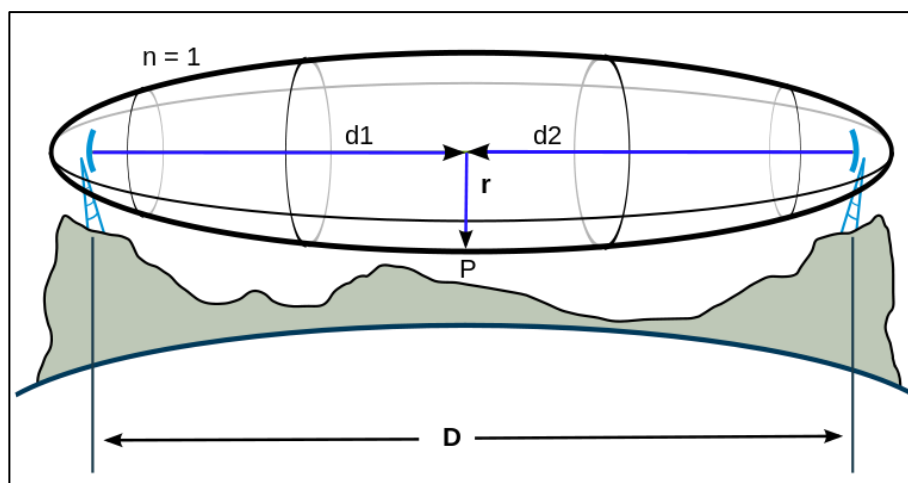


Figura 5: Zona de Fresnel. **Fonte:** GuvenlinkOnline.

Ocasionalmente para cálculo dos valores, pode se utilizar a equação [8] que dimensiona o tamanho do rádio para qualquer ponto P .

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 d_2}} \quad [8]$$

Onde, d_1 e d_2 representam a distância até o ponto P , λ o comprimento de onda do canal e a ordem da zona de Fresnel n usualmente considerada como $n = 1$.

Dessa maneira “no dimensionamento de um enlace de rádio, pode ser feito o cálculo de possíveis perdas por difração baseadas no grau de penetração do relevo no elipsoide da zona de Fresnel” (CASTRO, 2010). O que deve ser levado em consideração na perda do sinal como o percentual de zona obstruída.

2.5 ANTENAS

As antenas desempenham um papel crucial na propagação do sinal em um canal de rádio móvel, sendo “dispositivos que atuam como transição ou casamento entre fonte e a onda no espaço” (SOARES; SILVA, 2003).

Tal dispositivo é importante para excitar onda eletromagnéticas a partir de uma fonte, em direções específicas da maneira mais eficiente possível, que por sua vez é traduzido na geometria de construção das antenas, que podem ter os mais variados formatos e tamanhos, onde cada uma apresenta a conceituação da melhor geometria para cada cenário.

Conforme elucida (SOARES e SILVA, 2003), existem algumas características importantes no momento do projeto das antenas, que podem ser destacadas como:

- Potência irradiada
- Largura de banda
- Eficiência de radiação
- Intensidade relativa dada cada direção

No entanto, para que quaisquer uma das informações possa ser obtida, existem dois caminhos que podem ser tomados. O primeiro descreve os parâmetros das antenas de maneira teórica e suas grandezas são obtidas através de soluções matemáticas, contudo tal técnica é factível apenas em alguns casos, já que a maioria das configurações na vida real, tem alto grau de complexidade (SOARES; SILVA, 2003). O segundo método é obter os parâmetros das antenas através de ensaios em laboratórios, comprovando seu desempenho através de medidas.

Dessa forma, cada tipo de projeto em particular requer uma antena em específico. “Em determinada situação convém que a energia seja emitida (ou recebida) uniformemente em todas

as direções; em outra se necessita o efeito diretivo, ou seja, a concentração do campo radiado em um feixe sucintamente estreito” (SOARES; SILVA, 2003). Isso significa que em regiões que se deseja atingir múltiplos usuários, utiliza-se antenas com lóbulo de irradiação omnidirecional⁶. Já nos casos onde deseja-se estabelecer o link de rádio apenas a um usuário, utiliza-se o sistema ponto a ponto, que faz uso de antenas de lóbulo estreito, concentrando a energia em uma região pequena, o que se traduz em maior distância de cobertura. Sistemas mais modernos como MIMO⁷, fazem uso de técnicas de múltiplas antenas, explorando a capacidade de multipercurso do sinal de rádio, para se obter um melhor nível de potência recebido.

Sendo as antenas um importante parte de qualquer sistema de rádio enlace, faz-se necessário rotineiramente encontrar maneiras de melhorar sua aplicabilidade em quaisquer sistemas. Na abordagem do projeto em questão conhecendo as características das antenas é então possível realizar o posicionamento em tempo real da antena para usar das melhores características de diretividade das antenas que formam o link, em busca de melhorar os sinais de rádio.

Outro conceito importante a ser explorado é a relação de diretividade das antenas. Tal característica diz respeito a relação de máxima intensidade de radiação, onde a função $U(\theta, \phi)_{max}$ compreende a função que descreve a região de máxima intensidade em função dos ângulos θ e ϕ , sendo ângulos absolutos que fornecem a intensidade de radiação, para o campo de radiação de média intensidade U_{med}

Seja Ω_A a área formada pelo feixe da antena, quando se associa Ω_A a área de uma esfera perfeita, obtem-se então a diretividade de uma antena ideal unitária, ou formalmente conhecida como antena isotrópica a ilustração de uma antena pode ser vista na **Figura 6**.

⁶ Que tem as mesmas propriedades em todas as direções.

⁷ *Multiple Input Multiple Output* (Múltiplas entradas e múltiplas saídas)

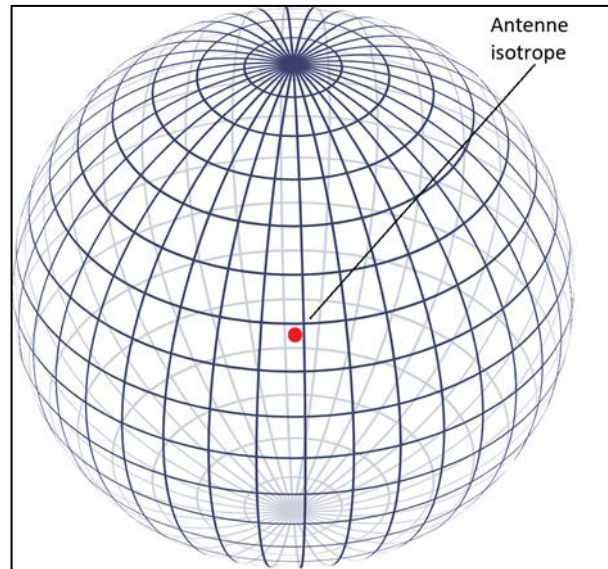


Figura 6: Antena isotrópica. **Fonte:** OpenClassrooms.

Dessa forma para qualquer que for o feixe de irradiação da antena, sua área associada Ω_A , deve ser sempre igual a de uma antena isotrópica ou menor, o que garante que a diretividade não seja menor que 1 e para demais casos maiores que 1.

Ao ser analisada uma antena isotrópica, adota-se o ganho da mesma definido como sendo a diretividade e eficiência da antena, dessa forma.

$$G = eD$$

Onde o ganho é definido como o produto da relação de eficiência da antena com a diretividade

O ganho da antena é uma informação fundamental que diz o quanto diretiva uma antena é para determinada aplicação, logo, antenas mais diretivas, tem feixe de radiação menores e com maior alcance, por outro lado antenas com diretividade próxima de 1, são melhor empregadas para cobrir uma região como um todo, as diferenças da diretividades são ilustradas na **Figura 7**.

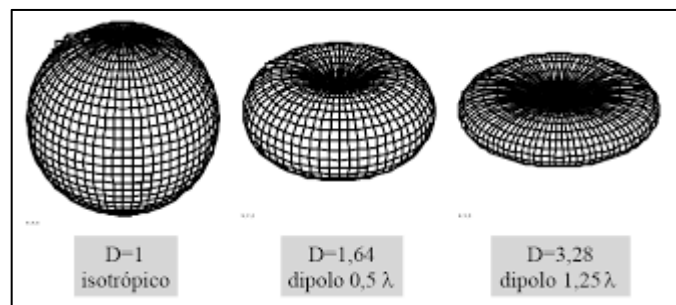


Figura 7: Influência na diretividade no feixe de irradiação da antena. **Fonte:** ASSIS.

Usualmente o ganho das antenas são expressos em níveis logaritmos, dB , dBd , dBi , o que facilita nos cálculos de rádio enlace.

Já o diagrama de radiação diz respeito “a representação espacial da superfície total do diagrama direcional de amplitude” (SOARES; SILVA, 2003). Descrevendo a distribuição angular normalizada do vetor de Poynting. O que se traduz na diretividade do feixe de irradiação da antena, vista na **Figura 8**.

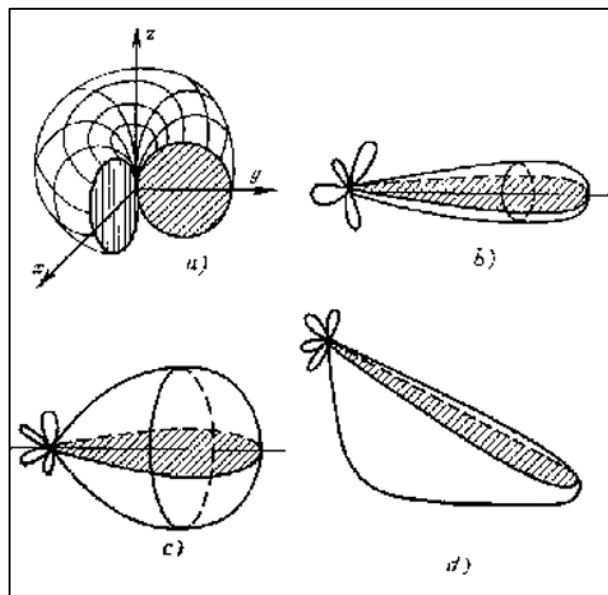


Figura 8: Diagrama de radiação típicos. **Fonte:** SOARES; SILVA.

Características de diretividade se refere a capacidade de uma antena para enviar ou receber sinais ao longo de uma estreita faixa (MARTINS, 2016), representados por gráficos de polarização vertical e horizontal conforme **Figura 9**, que descrevem de maneira mais simples o padrão de irradiação da antena, para os dados eixos de análise.

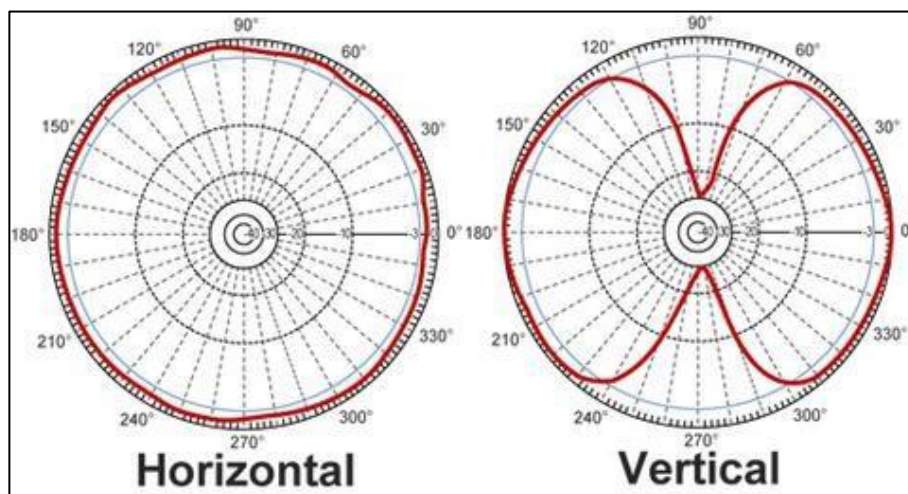


Figura 9: Diagrama de irradiação. **Fonte:** Medium.

Tais características apresentadas na **Figura 9**, são padrões encontrados nas antenas do tipo dipole, sua construção pode ser vista na **Figura 10**. O padrão de irradiação de tal antena é apropriado para sistemas multiponto.



Figura 10: Antena dipole. **Fonte:** EverythingRF

Em contrapartida para sistemas ponto a ponto, o uso de antenas omnidirecionais como dipole não se faz recomendado, já que grande parte da energia passa ser desperdiçada em regiões fora de interesse. O uso de outros tipos de antenas como YAGI, tem características de radiação que intensificam a energia fornecida em apenas uma única região, conforme pode ser visto na **Figura 11**

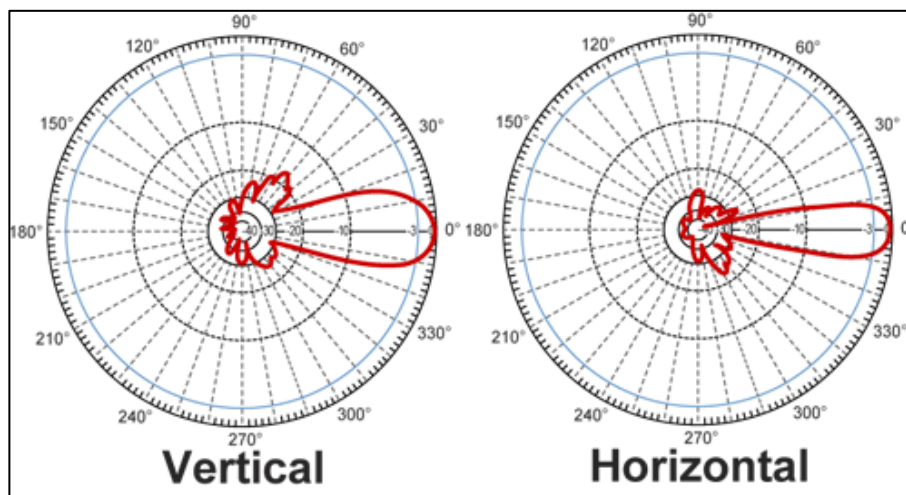


Figura 11: Diagrama de irradiação Yagi. **Fonte:** Automações.

Tais propriedades fazem com antenas desse gênero diretivo, tenham que estar corretamente alinhadas com o ponto de interesse do rádio enlace. O desalinhamento faz com que o sinal seja degradado e o link de rádio prejudicado. Na **Figura 12** pode ser visto uma antena Yagi montada e apontada

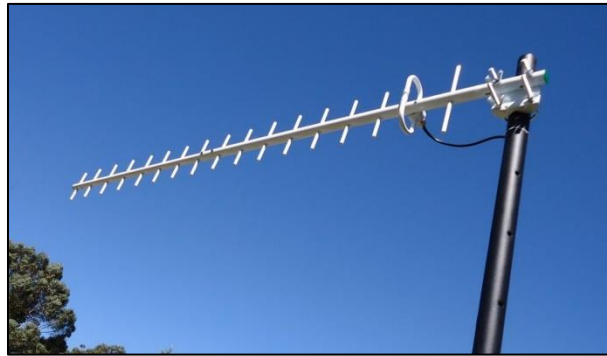


Figura 12: Antena Yagi. **Fonte:** Comnet

2.6 SISTEMA DE RASTREAMENTO

Continuamente em sistemas de rádio comunicação, o link entre as estações se torna crítico devidos a inesperadas movimentações dos suportes das antenas de rádio ou até mesmo o incorreto posicionamento, principalmente se tratando de antenas que operam em baixa frequência, já que são grandes e pesadas. Com o passar dos anos, estratégias de orientação de antenas direcionais foram surgindo, instaladas num mecanismo Pan-Tilt **Figura 13** que permitem a movimentação em dois eixos, dessa forma a antena pode ser que a direção das antenas acompanhe a movimentação do link de rádio (ARAÚJO; JÚNIOR, 2021)

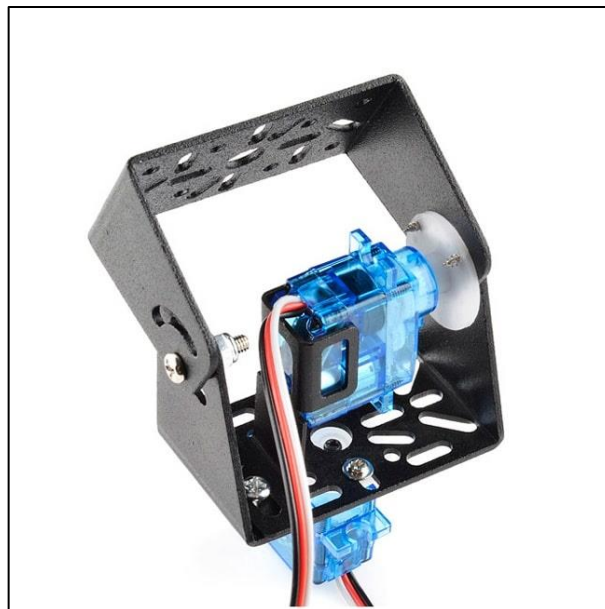


Figura 13: Mecânismo Pan-tilt. **Fonte:** FilipeFlop

Vale destacar que o mecanismo de Pan-Tilt adotado é específico para cada tipo de antena, já que as antenas têm tamanhos distintos e pesos variados e devem ser instalados em ambientes externos.

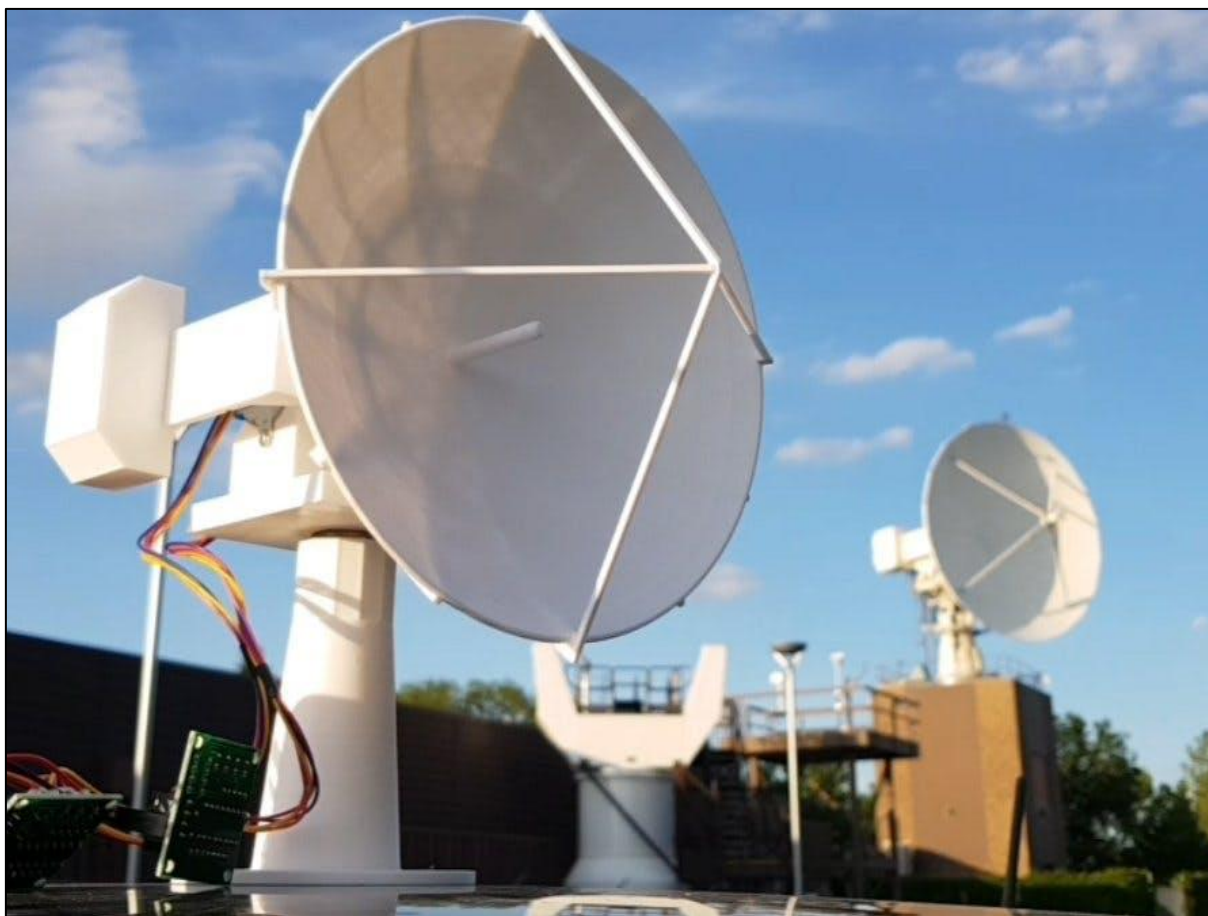


Figura 14: Antena tracking. **Fonte:** Project hub.

O sistema em si tem conceito simples, onde a antena de interesse é então acoplada em um mecanismo compatível Pan-Tilt permitindo dois graus de liberdade, orientando a antena para a zona de interesse.

Em geral esse nome também é conhecido como antena *tracking* e é amplamente empregado em enlaces de rádio comunicação entre satélites orbitais **Figura 14**, radares e outros.

2.7 MICROCONTROLADORES

Amplamente difundido atualmente, o uso de microcontroladores permitiu que sistemas embarcados e autônomos se desenvolvessem fortemente, sendo implementado em sistemas simples como brinquedos eletrônicos, até mesmo seu uso em orientadores aeroespaciais.

Isso se deu devido a sua grande capacidade em ser flexível e de hardware único, minimizando o uso de uma eletrônica complicada a um conjunto de instruções programadas dentro dos microcontroladores. Oki e Mantovani ainda descrevem os microcontroladores como:

Trata-se de um circuito integrado programável que contém toda a estrutura (arquitetura) de um microcomputador, isto é, dentro de um microcontrolador podemos encontrar uma CPU (Unidade Central de Processamento), memória RAM, memória

EEPROM (Memória de leitura e escrita não volátil; portas de entrada/saída (Pinos de E/S). Inclusive muitos modelos de microcontroladores incorporam diferentes módulos "periféricos", como conversores analógico/digital (A/D) , módulos PWM (controle por largura de pulso), módulos de comunicação serial ou paralelo e muito mais (Oki & Mantovani, 2013).

O mercado atual fornece uma gama de fabricantes e modelos de microcontroladores mais variados possíveis, sendo cada um aplicável a uma determinada característica. Existem no mercado três grandes marcas, são elas: Linha PIC da Microchip, Intel MCS da Intel e o AVR da Atmel, sendo a última Atmel, sendo a última utilizada na plataforma Arduino, plataforma essa muito difundida entre hobistas e estudantes, devido a sua simplicidade e grande comunidade (Cardoso, 2020).

2.7.1 Arduino pro mini

A escolha da plataforma Arduino permiti, que a complexidade seja reduzida, dando enfoque no algoritmo de aquisição de dados. Já que o mesmo fica responsável por ler parâmetros importantes do rádio enlace e repassar para o processamento. Na **Figura 15** pode ser visto o aspecto físico do Arduino, em especial uma série da plataforma Arduino que é de baixo custo e de hardware simples.

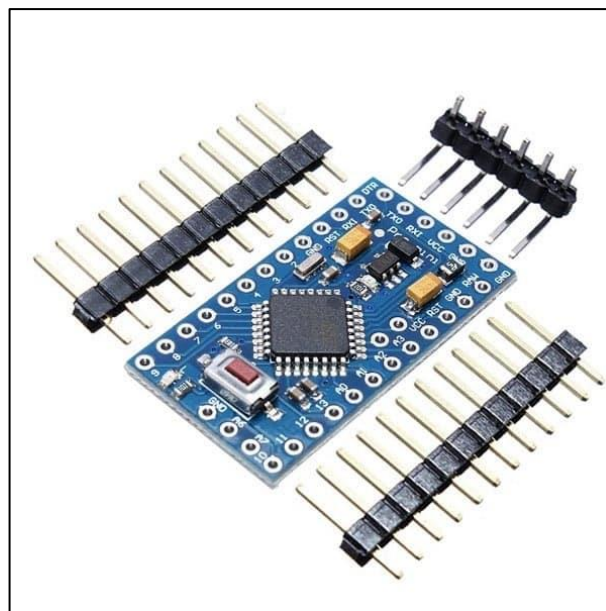


Figura 15: Arduino pro mini. **Fonte:** FilipiFlop.

Informações de hardware do microcontrolador, fornecem ao projetista uma série de informações pertinentes quanto a aplicabilidade do microcontrolador em um determinado cenário. O hardware do Arduino pro mini pode ser visto na **Tabela 2** abaixo.

Microcontrolador	ATmega328P
------------------	------------

Alimentação	3.35 -12 V (3.3V model) 5 - 12 V (5V model)
Entradas e saídas digitais	14
Saídas PWM	6
UART	1
SPI	1
I2C	1
Entradas analógicas	6
Interrupção externa	2
Corrente máxima por pino	40mA

Tabela 2: Hardware arduino pro mini. **Fonte:** Arduino

3 CAPÍTULO INTERFACE GRÁFICA

O capítulo a seguir destaca o método de funcionamento por traz do software do protótipo, trazendo uma abordagem mais especifica nos métodos empregados para construção do serviço de simulação, controle e correção do protótipo.

3.1 INTRODUÇÃO

O termo interface por mais cotidiana nos dias atuais muita das vezes se torna tão coloquial que se torna difícil definir ao certo o que é uma interface, Myers define o conceito de como sendo “o componente de software de uma aplicação que traduz as ações do usuário em uma ou mais solicitações à .funcionalidade da aplicação e que fornece ao usuário realimentação sobre as consequências da sua ação”. (Myers, 1991).

Dessa forma a interface deve fornecer ao usuário características que garantam fácil usabilidade aliada a um conjunto de informações relevantes a serem transmitidas para o usuário, isso pois nem todas as informações são úteis. À medida que as interfaces se tornam mais simples de se usar, mais complexos se torna o desenvolvimento, sendo que de 40 a 50% de todo código da aplicação é destinado apenas a interface gráfica segundo (Bobrow & Mittal, 1986).

Em geral com o crescimento da demanda tecnológica, cada vez mais as interfaces gráficas digitais vêm ganhando apelo, sendo distribuídas em muitas plataformas distintas para que possam ser acessadas em qualquer dispositivo.

Softwares muito famosos na área de rádio comunicação como rádio mobile, apresentam baixo apelo a escalabilidade de aprendizado, já que o uso de suas ferramentas é completamente difícil e pouco intuitivo, isso se deve a grande parte pelo período de desenvolvimento da interface gráfica e as tecnologias para época. Outros softwares de rádio enlace se saem bem no quesito usabilidade, mas são limitados ao quesito de simulação.

O enfoque do projeto não é substituir tais softwares, mas agregar o diferencial em criar um ambiente de gerenciamento e simulação de rádio enlace, que seja mais moderno e possa ser facilmente distribuído e escalonado para gerencias grandes ou pequenos enlaces de rádio comunicação.

Responsável por visualizar e gerenciar o sistema de rádio enlace, a interface gráfica tem papel fundamental na execução do protótipo, já que a mesma é responsável por apresentar os dados para o usuário de maneira simples e com encadeamento lógico, a ideia por trás se baseou em desenvolver uma interface web que se conectando a um servidor local colete as informações a qual o sistema de rádio enlace encontra-se conectado, apresentando as

informações de maneira amigável ao usuário. Dessa forma informações como coordenadas geográficas dos pontos de enlace, perfil de terreno, perca por caminho e outras informações podem ser facilmente acessadas.

O uso da interface permite que uma série de informações sejam acessadas pelo usuário e ainda permite o controle e simulação de valores para correção do ganho do link entre as estações.

Vale ressaltar que a interface gráfica se trata de apenas metade de todo o software, já que utilizando conceitos modernos de desenvolvimento web, há a separação do ambiente de processamento dos dados, chamado de *back-end* e a interface gráfica, que é conhecida com *front-end* o que ao todo compõem o software conforme pode ser visto na **Figura 16**.

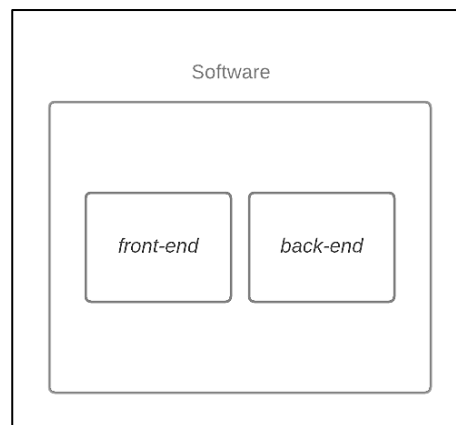


Figura 16: Encapsulamento do software. **Fonte:** Do autor.

Tal estrutura de desenvolvimento permite que funcionalidades extras fossem incluídas na navegação e criação de softwares, sendo possível criar sistemas cada vez mais desacoplados e que sejam mais rápidos nas trocas de informação. Diferente dos modelos de servidores antigos que se limitavam apenas a responder com uma página estática de dados (Cordeiro, 2014).

Isso não só desacopla a parte administrativa e consumidora de dados logicamente, mas permite a desestruturação de ambos por todo ambiente de rede, fazendo uso de recursos já existentes para distribuição do software.

3.2 FRONT-END

Construído em *React* a aplicação de *front-end* faz a integração do *back-end* com o usuário. O conceito de *React* se trata de uma biblioteca escrita em JavaScript declarativa, eficiente e flexível para construir interfaces de usuário, permitindo compor Interfaces gráficas complexas a partir de pequenos e isolados pedaços de código chamados componentes (REACT). Várias aplicações famosas como Visual Studio Code, rodam em seu núcleo *React* o que faz dela uma belíssima ferramenta para desenvolver os mais variados tipos de interface.

Essa modularidade faz com que construir interfaces se torne muito mais atrativo, já que a componentização de aplicabilidades pode serem feitas com facilidade. Escalonando implementações no código que podem ser implementadas posteriormente, tais componentes podem ser vistos na **Tabela 3**.

Recurso	Uso
Configurações	Campo responsável por resgatar todas as informações necessárias para o funcionamento do sistema.
Dados	Campo onde os dados informativos do rádio enlace são mostrados.
Informações extras	Região que plota os gráficos do perfil de terreno e diagrama de irradiação.
Mapa	Área do sistema que mostra todo o rádio enlace no espaço terrestre.

Tabela 3: Recursos front-end. **Fonte:** Do autor.

O conceito de *front-end* traz consigo a flexibilidade em desenvolver a interface vista pelo usuário, como uma parte separada do todo, onde o mesmo é responsável por fazer requisições ao *back-end* de maneira controlada, e espera obter as informações processadas como respostas, vide **Figura 17**.

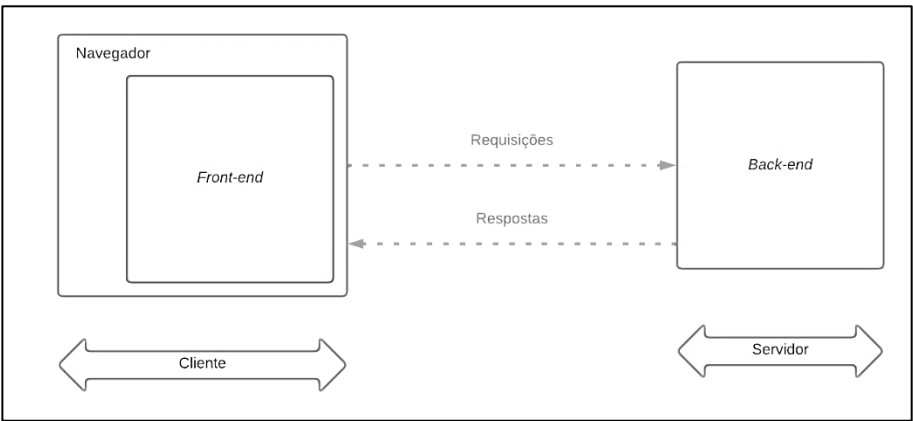


Figura 17: Esquema simplificado requisição e resposta front-end. **Fonte:** Do autor.

Tal arquitetura permite então que o sistema seja acessado de qualquer dispositivo conectado em rede, fornecendo os parâmetros de controle e monitoramento do rádio enlace de rádio.

3.3 BACK-END

Sendo o coração por trás do projeto o *back-end* é responsável por gerenciar todas as solicitações, atuando como a regra de negócio que gerência as conexões e fornece as informações requisitadas pelas aplicações do *front-end*.

A arquitetura separada permite que todas as requisições feitas, tenham um modelo específico definido durante o processo de desenvolvimento do algoritmo. O que garante uma maior segurança na requisição dos dados.

A **Figura 18**, ilustra o esquema simplificado da negociação de dados que o *back-end* executa com as demais tecnologias, o servidor é responsável por hospedar o código e estar sempre disponível para solicitações, dos dispositivos conectados.

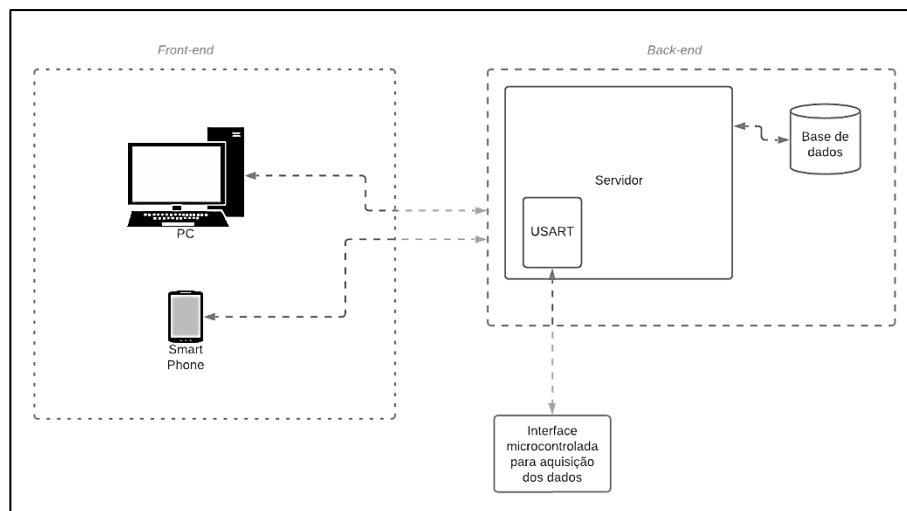


Figura 18: Esquema simplificado arquitetura do back-end. **Fonte:** Do autor.

Para que seja possível tratar os dados do rádio enlace, alguns recursos precisaram ser implantados, sendo listados na **Tabela 4**.

Recurso	Uso
API de dados geográficos	Fazendo uso do serviço do banco de informações do OpenStretchView, o mesmo fornece os dados para montagem do mapa de navegação.
Algoritmo para cálculos geográficos	Realiza os cálculos das coordenadas geográficas como, distância entre os pontos, ponto médio, conversão de formato de dados geográficos, entre outros.

Algoritmo de alinhamento de antenas	Realiza o alinhamento o procedimento de alinhamento das antenas, tendo como base o sinal recebido na estação subordinada.
Algoritmo de perca por caminho	Responsável por calcular a perca por caminho do rádio enlace
Conexão UART para ligação da interface microcontrolada	Implementa a requisição e envio de dados feitas através da porta serial do computador, canal pelo qual serão trafegadas as informações do rádio enlace.

Tabela 4: Recursos do back-end. **Fonte:** Do autor.

Os recursos citados na **Tabela 4**, são indispensáveis para o correto funcionamento do software, já que juntos fornecem todas as informações e controle para o protótipo.

O algoritmo de alinhamento de antenas realiza os cálculos e testes necessário para colocar as posições das antenas no melhor alinhamento encontrado. Para tanto precisa de uma série de informações que também são fornecidas pelo algoritmo de perca por caminho que calcula o valor encontrado por meio da equação de Okumura Hata o nível de potência recebido esperado no receptor. E concatenando as informações do hardware e software se encontra a conexão UART que gerencia a comunicação entre software e hardware.

3.3.1 Algoritmo de perca de caminho

Para os cálculos de perca de caminho, fora adotado o modelo de Okumura Hata que fornece uma boa estimativa inicial e posteriormente vai se adequando à medida que leituras adicionais são feitas em campo real, tomando os dados para simulação cada vez mais precisos.

Os dados do rádio enlace de frequência, distância entre os links, tipo de local e alturas de torre e estação, são inseridos no algoritmo de cálculo de perca de caminho, que usa as informações para cálculo da perca no instante da medida, ocasionalmente para que a correção seja válida uma série de medições deve acontecer antes que esse possa interpolar o fator de correção, adicionando o valor corrigido a perca de caminho calculada, conforme pode ser visto na **Figura 19**.

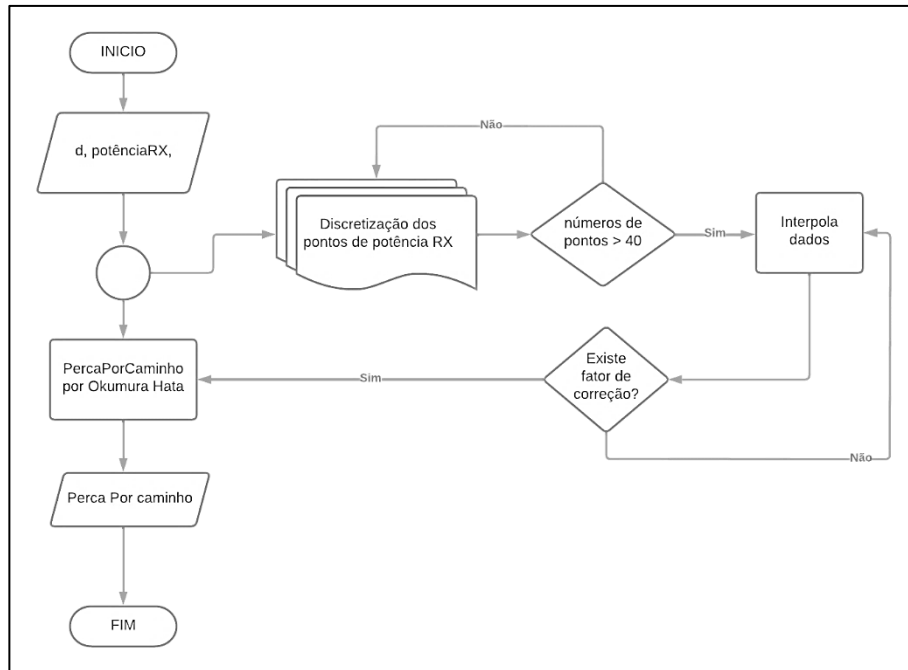


Figura 19: Cálculo de perca por caminho. **Fonte:** Do autor.

O algoritmo também permite que mais modelos de predição de radioenlace sejam inseridos, permitindo comparar valores para cada método aplicado.

3.3.2 Algoritmo de alinhamento das antenas

Para gerenciamento do posicionamento das antenas, o sistema ainda conta com um algoritmo especializado em buscar a melhor posição de antena, realizando uma varredura individual em cada eixo da antena, até colocá-la no melhor ponto medido. Para tanto o algoritmo só atua em uma dada faixa de potência de sinal, fazendo com que sinais muito degradados ou muito fortes, sejam desconsiderados e a posição da mesma fique por conta do valor calculado previamente.

A rotina de comparações faz uma varredura dentro de um limite definido e realiza a comparação do valor atual da força do sinal recebido com o valor do início, dada a condição ele continua ou volta com a varredura conforme pode ser visto na **Figura 20**.

3.4 CONSTRUÇÃO DA INTERFACE GRÁFICA

A ideia por trás da implementação da interface gráfica, se baseia em adotar mecanismos modernos e de fácil usabilidade que fornecessem uma experiência de uso mais dinâmica possível, para tanto adotou-se um esquema simplificado e direto conforme **Figura 22**

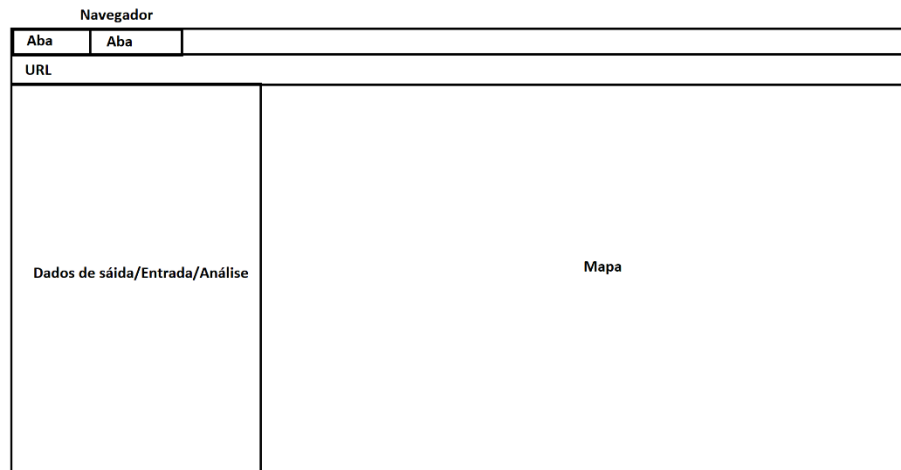


Figura 22: Esboço dos campos da interface gráfica. **Fonte:** Do autor.

Os dois campos principais têm por base apresentar apenas as informações importantes sendo o mapa a área responsável por representar a localização espacial dos pontos de rádio enlace, o que contribui na facilidade de uso, já que é possível determinar e ainda verificar a localização dos pontos geográficos. Já no campo lateral o usuário tem todas as informações de controle sob os parâmetros do rádio enlace e podem ser escolhidos entre três campos distintos, Entrada de dados, Saída de dados e Análise, sendo o último responsável por mostrar gráficos.

Por trás da construção da interface gráfica, foram utilizadas as tecnologias mais modernas de aplicação, construindo um *back-end* que gerência e controla todo o sistema de posicionamento e dados advindos das estações de aquisição de dados e o *front-end* que se conecta ao *back-end* e apresenta todas as informações e controle de maneira amigável.

A interface gráfica como um todo pode ser visto na **Figura 23**

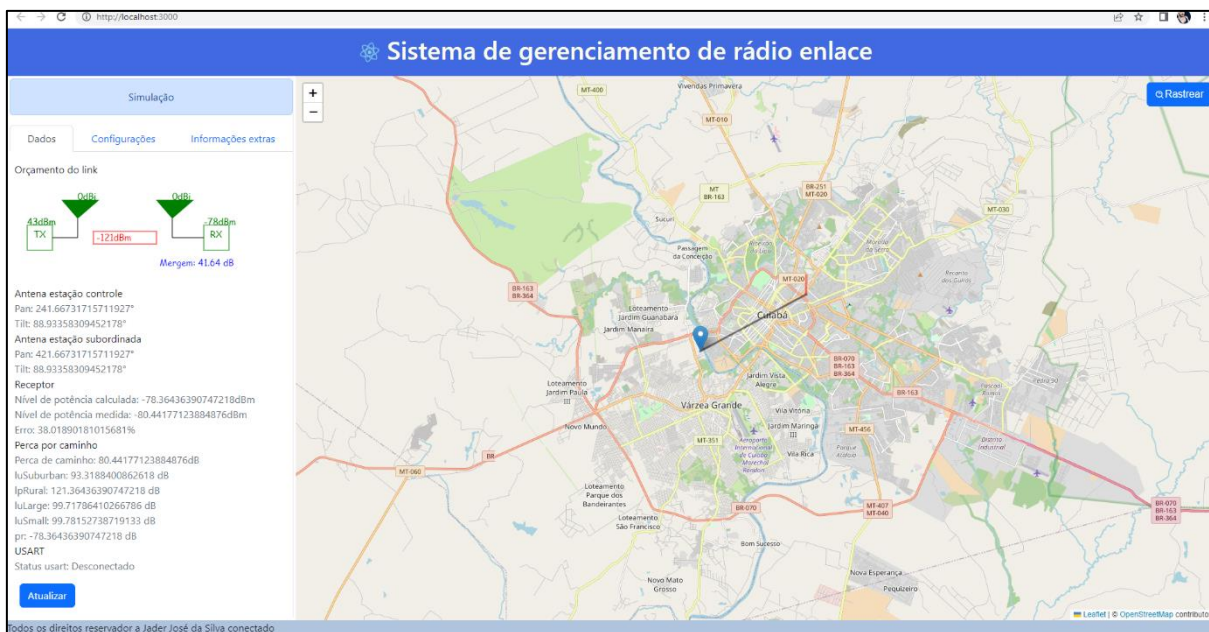


Figura 23: Interface gráfica. **Fonte:** Do autor.

Já na **Figura 24**, pode ser visto a interface do software acessada por um smartphone.



Figura 24: Vista da interface gráfica de um smartphone. **Fonte:** Do autor.

4 CAPÍTULO 4

ESTAÇÃO DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE

O presente capítulo tem por objetivo destacar as principais configurações e tecnologias empregadas na realização do sistema que fica responsável em conectar o software com a estações de rádio enlace

4.1 INTRODUÇÃO

Responsável por coletar as informações do meio e repassar ao software, os sistemas de aquisição de dados são amplamente difundidos no conceito de monitoramento, já que formam uma estrutura de aquisição que fornecem dados que possam ser tratados e posteriormente trabalhados.

No conceito de rádio enlace, não poderia ser diferente, já que lidando com o link de rádio deve-se realizar constantes medições nos valores de Potência absoluta recebida, ângulo de antenas e uma série de outros parâmetros, que constantemente fornecem dados para o sistema de gerenciamento proposto. Concomitantemente a isto, o sistema também deve atuar no reposicionamento da antena enviando as informações para o controle.

Com todo o sistema de gerenciamento devidamente montado, há então a necessidade de alimentá-lo com os dados do rádio enlace. Para isso, então, partiu-se para o desenvolvimento do hardware da estação de aquisição de dados e controle. A mesma fica responsável por coletar as informações e repassar os dados ao gerenciamento, através de uma conexão UART feita no computador e gerenciar os mecanismos de posicionamento da antena.

4.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados que são recebidos pelo sistema são uma coletânea amostral dos valores recebidos pelo *back-end*, que recebe as informações da estação de aquisição e controle, repassadas via *UART* para o computador.

Os dados recebidos pelo *back-end* estão divididos em dois grupos, as informações da estação de controle e subordinada. Ambas apresentam os mesmos dados, sendo a latitude, longitude e altura adquirida pelo GPS ⁸já o rádio *LORA*⁹ além de fornecer o link entre as

⁸ Global position system

⁹ Long Range

estações, fornece as informações de $RSSI^{10}$ e potência de transmissão, que são repassadas à estação de controle e se concatenam ao fluxo de informações que vão ser fornecidas ao computador. A **Figura 25** exemplifica a macro construção por trás do sistema

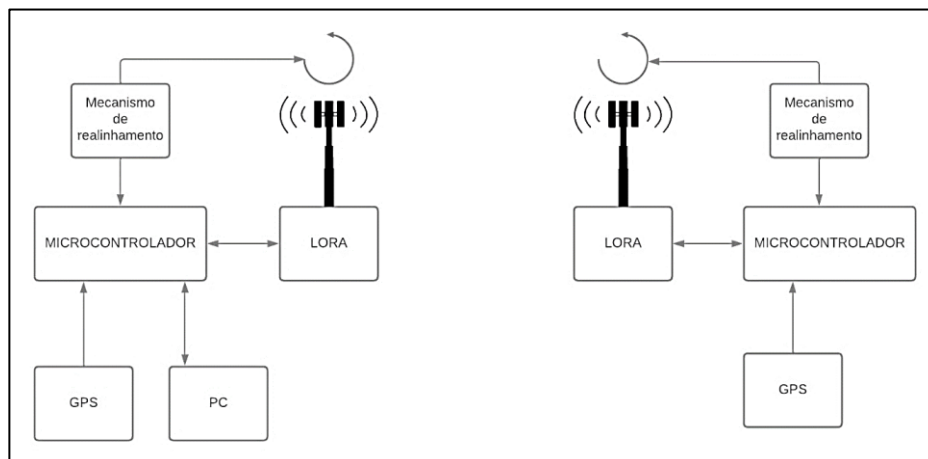


Figura 25: Diagrama de funcionamento do protótipo. **Fonte:** Do autor.

Os dados então devidamente tratados são entregues ao núcleo de cálculos do *back-end* que calcula informações de distância entre os pontos, ângulos de partidas das antenas, perca por caminho calculada, perfil de altura do terreno em linha reta e uma série de informações que são entregues ao usuário.

4.3 SISTEMA DE CONTROLE PAN TILT

O sistema ainda conta com o gerenciamento em tempo real das antenas, que faz ajustes nos ângulos de posicionamento, partindo do inicial valor calculado e vai continuamente testando direções de posicionamento ao qual sejam registrados melhores valores de potência absoluta no lado da estação de controle e subordinada.

O algoritmo realiza uma série de verificações que vão em busca da melhor relação de potência recebida, melhorando enlaces críticos e potencialmente sujeitos a falhas.

4.4 COMPONENTES DE HARDWARE

Todo o sistema em questão se baseia na ideia de criar uma rede de comunicação sem fio e continuamente realizar medidas da qualidade do sinal de uplink e downlink do sistema, realizando cálculos dos ganhos das antenas e ainda realizando as devidas correções no sistema de posicionamento das antenas, extraindo sempre a melhor qualidade no enlace de rádio.

¹⁰ Received Signal Strength Indicator

Para tanto, o sistema deve continuamente se comunicar com a estação de controle, que gerencia todas as informações e posteriormente tratar as informações, repassando-as como forma de sinais para todo o sistema.

Com a ideia de funcionamento da estação de aquisição de dados e controle partiu-se então para determinação o desenvolvimento do hardware, na **Figura 26** pode ser visto os principais blocos de dispositivos conectados ao microcontrolador.

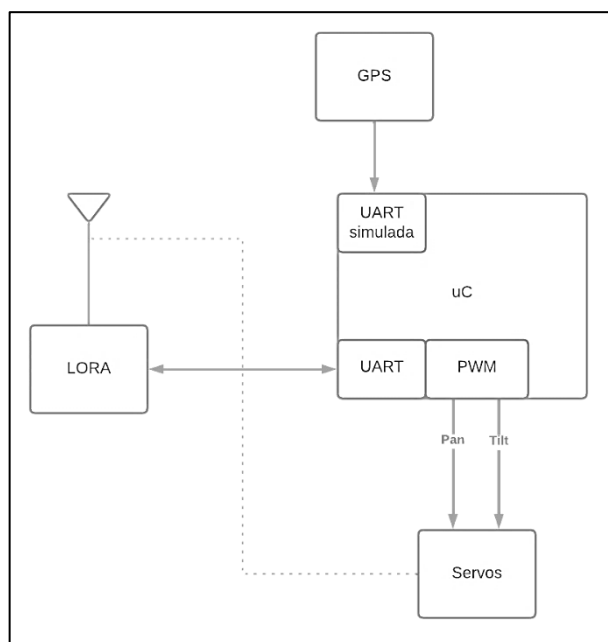


Figura 26: Esquema simplificado da estação de aquisição de dados e controle. **Fonte:** Do autor.

O papel do GPS é fornecer informações de posição geográfica latitude, longitude além da altura, que são repassados pela UART ao microcontrolador. Esses são apresentadas por cadeias de caracteres que são desagrupados a fim de se obter os dados acima citados.

Para controle do posicionamento da antena, adotou-se os servos mecanismos, por serem de fácil implementação e funcionais para o caso em questão, sendo controlados pelo PWM gerado no microcontrolador.

E por fim tem-se o LORA, que é responsável pelo link do rádio enlace, transmitindo e recebendo informações na faixa de UHF, que além de servir de canal para tráfego do canal de gerência do protótipo do rádio enlace, também pode é usado para tráfego de informações.

Para simulação e confecção da placa de circuito impresso fora utilizado o software Proteus, que permite que todo o esquema eletrônico seja desenvolvido. Na **Figura 27** pode ser visto o esquema.

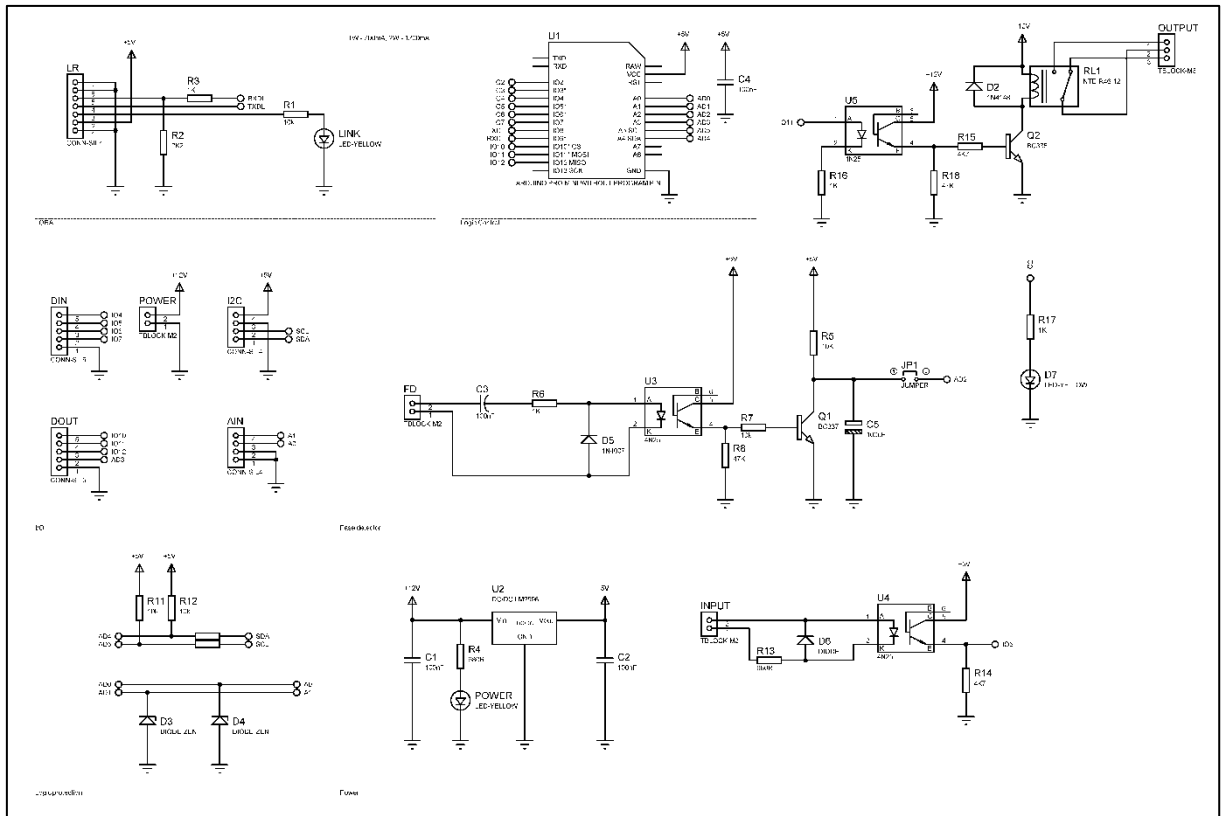


Figura 27: Esquema eletrônico Estação de aquisição de dados. **Fonte:** Do autor.

Alguns pontos importantes a serem destacados na **Figura 27** são os circuitos de GPS e Controle dos servos, que são agregados respectivamente nos barramentos de DIN e DOUT já o circuito de detecção de fases e controle de carga foram desenvolvidos para implementações de uso da estação de aquisição de dados como central de controle de cargas.

Com todo o esquema eletrônico desenvolvido partiu-se então para o desenvolvimento da placa de circuito impresso a qual pode ser visto na **Figura 28**.

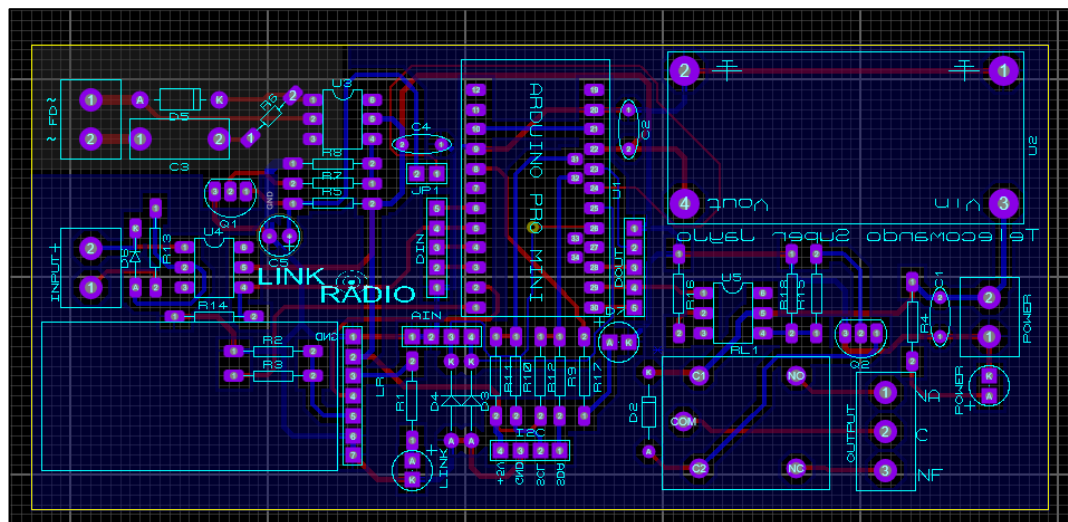


Figura 28: Placa de circuito impresso. **Fonte:** Do autor.

Para a confecção optou-se em utilizar o serviço oferecido pela JLCPCB, que recebe os arquivos de caminho da placa de circuito impresso e realiza a manufatura. Na **Figura 29**

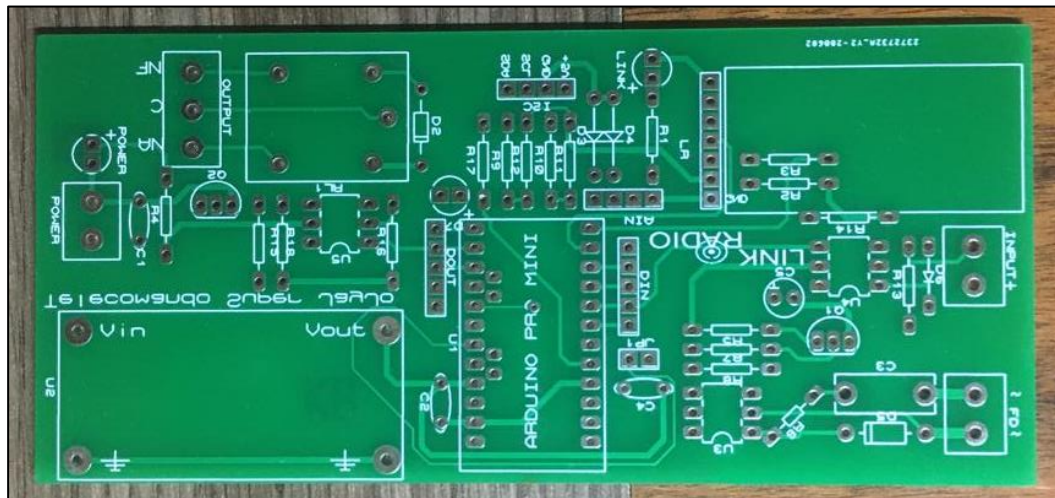


Figura 29: Placa de circuito impresso concluída. **Fonte:** Do autor.

A montagem final do protótipo, junto a todo sistema de alimentação da estação de controle, pode ser vista na **Figura 30**.



Figura 30: Montagem final da estação de aquisição de dados e controle do lado de controle. **Fonte:** Do autor.

5 CAPÍTULO ENSAIOS E TESTES

O presente capítulo traz uma coletânea de dados, a fim de quantificar os ganhos obtidos com a implementação do protótipo de interface de simulação, controle e correção de rádio enlace.

5.1 INTRODUÇÃO

Ensaio e testes, fazem parte da metodologia de desenvolvimento de qualquer proposta, isso pois através desse meio pode-se mensurar e assim validar os conceitos apresentados, sendo uma importante ferramenta para qualquer área.

A finalidade da aplicação do método é levantar testes e ensaios a fim de validar a metodologia desenvolvida e o uso do protótipo proposto, obtendo um conjunto de dados com o protótipo em teste e outros apenas com o sistema de rádio enlace. Ainda se optou em realizar uma simulação adicional com o software Rádio mobile, para comparar os valores obtidos a outro método de simulação. Para tanto algumas etapas foram levantadas em conta para levantar os resultados. Sendo respectivamente elas.

5.2 CENÁRIO DE TESTES

A primeira etapa iniciou-se o estudo dos pontos disponíveis para análise, separando no total um conjunto de 14 sites e um ponto central que consiste na estação de controle. As coordenadas selecionadas podem ser vistas na **Tabela 5**, situadas na cidade de Colider-MT.

Nome	Latitude	Longitude
PTMP	-55.4577242392271	-10.8013085467784
Site1	-55.4583533141666	-10.7991883041845
Site2	-55.45247275662	-10.795215824905
Site3	-55.4480291581093	-10.7880535487463
Site4	-55.4616706402672	-10.789766312808
Site5	-55.4664579257403	-10.7945551757389
Site6	-55.47973845152	-10.7967280261983
Site7	-55.4952042657646	-10.7993732431303
Site8	-55.4578144933556	-10.7604636314706
Site9	-55.4629765351267	-10.7579956298355
Site10	-55.4490384865191	-10.8124673931847
Site11	-55.44510653001	-10.8266401158729

Site12	-55.4346695131242	-10.8183026209442
Site13	-55.4286481464418	-10.8218346267574
Site14	-55.4212444559899	-10.8134251182651

Tabela 5: Pontos para análise do rádio enlace. **Fonte:** Do autor.

Os pontos destacados podem ser vistos na **Figura 31**



Figura 31: Vista aérea dos pontos selecionados para simulação e testes. **Fonte:** google earth.

Para os testes montou-se a seguinte configuração, vide **Figura 32**, onde para estação de controle fora utilizado uma antena operando na faixa dos 900MHz do tipo omnidirecional, isso devido a infraestrutura já existente no local **Figura 33**. Todo o sistema do lado da estação de controle foi então montado e por fim conectado ao computador, onde os dados são tratados.

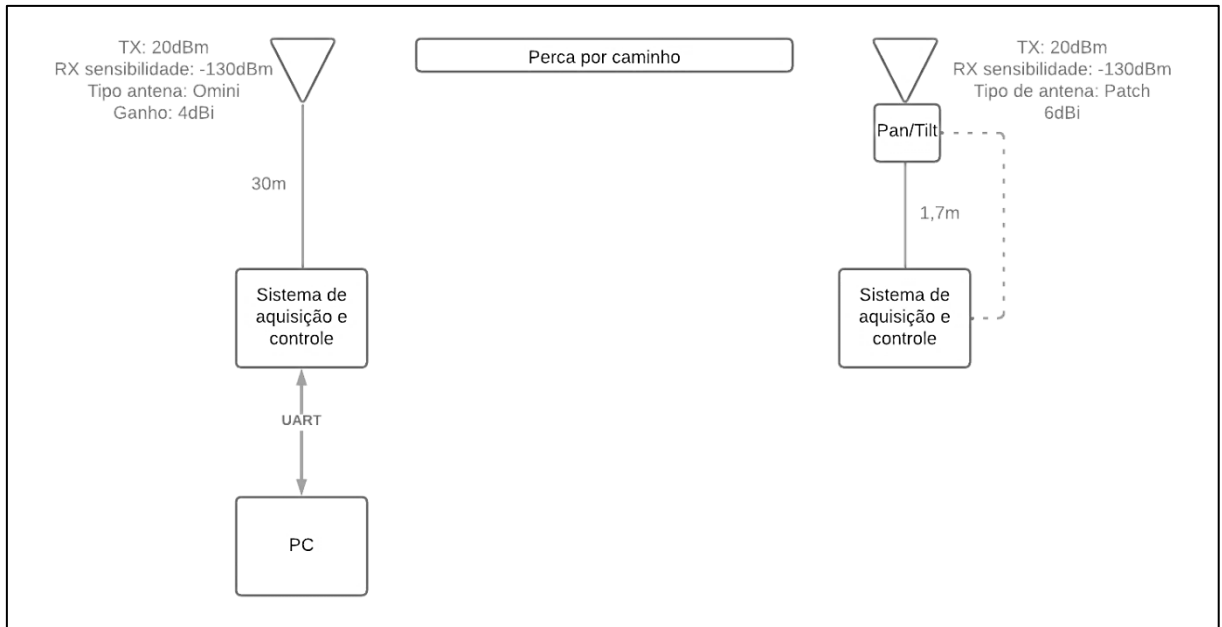


Figura 32: Configuração de testes. **Fonte:** Do autor.



Figura 33: Infraestrutura da torre para montagem da estação de controle. **Fonte:** Do autor.

Já do lado da estação subordinada, tem-se o sistema de aquisição e controle conectado ao sistema de PanTilt **Figura 34**, responsável por realizar o alinhamento da antena quando for solicitado na interface gráfica do sistema.



Figura 34: Estação subordinada. **Fonte:** Do autor.

Com todo o sistema devidamente montado partiu-se então para os testes em campo, indo ponto a ponto dos locais demarcados. Como toda o controle é feito da estação de controle no lado da torre, todo o acompanhamento foi desenvolvido por duas equipes, sendo uma responsável pelo deslocamento da estação subordinada e outra para comando da interface no lado da estação de controle.

Partindo para o lado do controle estão destacadas as **Figura 35** e **Figura 36**, que mostram todo o sistema trabalhando em conjunto para medida do Site14, trazendo uma série de informações em tempo real do link de rádio formado pelas duas estações.



Figura 35: Vista da interface do sistema. **Fonte:** Do autor.



Figura 36: Vista da interface do sistema. **Fonte:** Do autor.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DAS MEDIÇÕES

A partir da montagem de todo cenário de testes deu-se então início a realização das medições, a tabela com os valores absolutos da força do sinal do lado da estação subordinada, pode ser vista na **Tabela 6**

Local	Força do sinal RX medido (dBm)
Site1	-62,2
Site2	-84,6
Site3	-94,6
Site4	-90,1
Site5	-89,6
Site6	-97,5
Site7	-108,2
Site8	-107,5
Site9	-109,9
Site10	-92,4
Site11	-102,3
Site12	-105,3
Site13	-105,6
Site14	-111,0

Tabela 6: Força do sinal rx do lado da estação de controle. **Fonte:** Do autor.

Os valores apresentados na **Tabela 6** indicam as leituras feitas no software e catalogadas para cada site em específico, as medidas foram obtidas realizando o deslocamento ponto a ponto e colhendo os dados no software, que representam os valores da potência absoluta medida no lado do receptor.

Os dados das medições foram então comparados com alguns outros métodos de predição de radioenlace, sendo respectivamente a simulação de cada ponto individual no rádio mobile, valores simulados no próprio software e os valores medidos também apresentados no software **Gráfico 1**

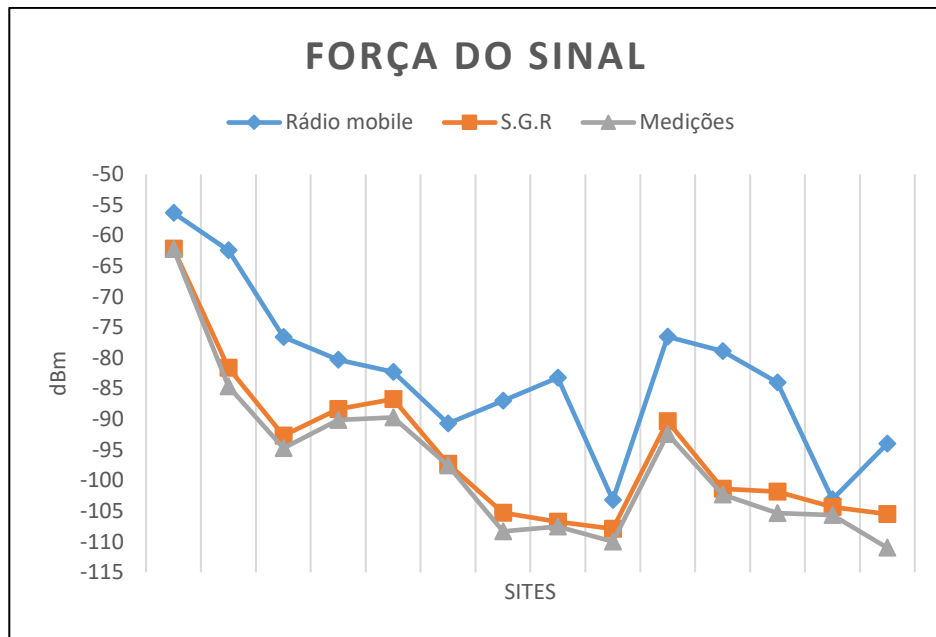


Gráfico 1: Potência recebida lado estação subordinada. **Fonte:** Do autor.

Os valores então obtidos no **Gráfico 1**, demonstram a aproximação calculada pelo ambiente de simulação do sistema de simulação da interface e os valores medidos com uma variância média de 16dB. Vale destacar que o sistema já havia sido alimentado com os dados para gerar o fator de correção.

Para comparação dos valores, o sistema fora então submetido a dois testes isolados, onde em um cenário aplicou-se a implementação do protótipo e de outro o sistema unicamente com os componentes mínimos do rádio enlace.

Os valores obtidos são então uma coletânea de dados feitos sob a tentativa de se manter as mesmas variáveis de controle como humidade, temperatura, horário e entre outras variáveis que podem influenciar na rádio propagação. Quando comparado com os valores medidos sem o sistema de gerenciamento de rádio enlace, obtém-se o **Gráfico 2**.

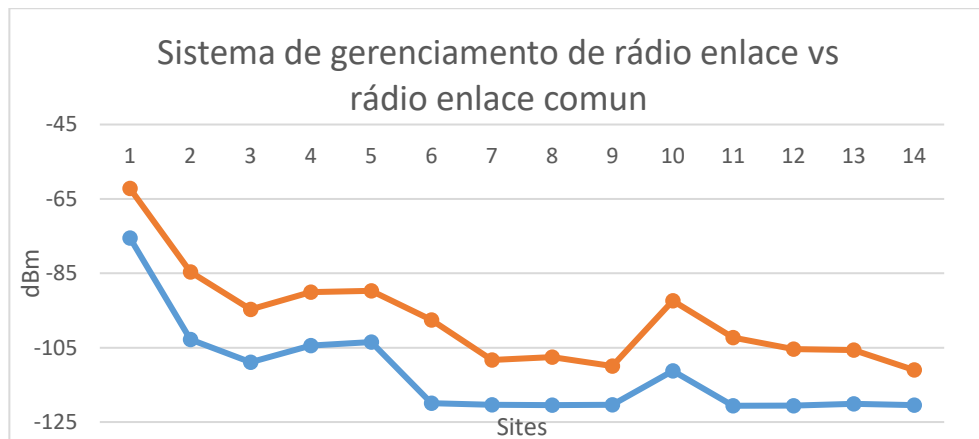


Gráfico 2: Sistema de gerenciamento de rádio enlace vs rádio enlace comum. **Fonte:** Do autor.

Em média a adição do sistema de gerenciamento de rádio enlace apresenta uma variância de cerca de 10,10dB, quando comparado aos valores reais sem o sistema de reposicionamento e com o sistema de posicionamento ativado. Isso significa que para sinais degradados, é possível se obter ganhos significativos que façam o sistema de rádio enlace operar dentro de uma margem mais confortável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para realização dos objetivos proposto pelo trabalho, inicialmente abordou-se o conceito teórico dos principais fenômenos da rádio propagação e tecnologias empregadas, para construção do modelo protótipo. Tais conhecimentos permitiram que o trabalho desenvolvido fosse de caráter muito mais sólido, já que fornece a base para compreensão dos fenômenos aos quais pretendiam ser gerenciados.

Partindo para a construção do software, pode-se então criar uma interface de fácil portabilidade para outras plataformas além da web, com intuito de criar um software de fácil aplicação em qualquer cenário, contanto com recursos de simulação de radioenlace, gerenciamento dos parâmetros, e ainda controle automático do posicionamento da antena, sendo esse último responsável por melhorar a qualidade do sinal de rádio, contudo para os dois tipos de aplicação de gerenciamento e controle o sistema deve contar com o auxílio de um hardware externo adicionado, sendo responsável por realizar as leituras dos parâmetros em tempo real do canal.

Por fim todo o escopo do projeto pode então passar por uma etapa de testes, realizando medidas reais e as comparando em ambos os cenários de aplicação. De um lado o rádio enlace montado com o sistema de simulação, gerenciamento e controle, e de outro o sistema unicamente com o rádio enlace.

Os dados amostrados validam o uso do sistema para o cenário proposto, o não cumprimento das informações disponibilizadas pode ou não invalidar testes futuros. Que podem ser explorados no futuro como um possível ensaio para novos testes.

6.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Abaixo estão listadas algumas futuras perspectivas e sugestões para implementações futuras do sistema de gerenciamento, controle e correção de rádio enlace:

- Implementação da varredura do sinal de rádio em tempo real (*site survey*)
- Criação de um mecanismo de posicionamento para antenas de maior porte.
- Testes e operação para faixa de frequências mais altas

REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, R. Álvaro; JÚNIOR, P. C. Gilmar, *et al.* **Comando de direção de Antenas de Rádio para Teleoperação de Robô Móvel.** Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbai/article/view/2713/2254>
- [2] ASSIS, R. Fábio. **Introdução à Engenharia de Radio Frequência.** Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ewh.ieee.org/sb/bahia/fct/Introducao_engenharia_rf.pdf>
- [3] Bobrow, D., & Mittal, S. &. (1986). **Expert Systems: Perils and Promise.**
- [4] Cardoso, M. (23 de setembro de 2020). **O Que É Um Microcontrolador?** Fonte: IEEE RAS UFCG: <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador/>
- [5] Cordeiro, A. C. (Fevereiro de 2014). **Desenvolvimento do BackEnd de um Aplicativo Mobile para Smartphone.** 71. Fonte: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/169957/PFC-20132-AlexandreCostaCordeiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] CASTRO, S. L. Bruno. **MODELO DE PROPAGAÇÃO PARA REDES SEM FIO FIXAS NA BANDA DE 5,8GHZ EM CIDADES TÍPICAS DA REGIÃO AMAZÔNICA.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará. Disponível em <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/2628/1/Dissertacao_ModeloPropagacaoRedes.pdf>.
- [7] CHO, Chang-ho; LEE, Sang-Hyo *et al.* **Antena Control System Using Step Tracking Algorithm, with H Controller.** Disponível em: <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://koreascience.kr/article/JAKO200311921617686.pdf>>
- VITUCCI M. E *et al.*, **Ray Tracing RF Field Prediction: An Unforgiving Validation.** Disponível em: <<https://downloads.hindawi.com/journals/ijap/2015/184608.pdf>>
- [8] , R. C. (Dezembro de 1992). **SISTEMAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES DE USUÁRIOS.** 1. Fonte: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45132/tde-20210729-003825/publico/MayerRobertoCarlos.pdf>

[9] Myers, B. A. (Abril de 1991). **User interface programing survey**. Fonte: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45132/tde-20210729-003825/publico/MayerRobertoCarlos.pdf>

[10] Oki, N., & Mantovani, S. C. (2013). **TEEE I-Projeto de Robôs Móveis MICROCONTROLADORES -PIC**. Departamento de Engenharia Elétrica, 18. Fonte: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/microcontroladores-_pic-1.pdf

[11] SOSKA, Juliane Letícia Antunes. Jornalismo e entretenimento no rádio: uma análise do programa pretinho básico. Monografia (Bacharel em Comunicação Social). Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Feevale, 2010. Disponível em:<<http://ged.feevale.br/bibvirtual/Monografia/MonografiaJulianeSoska.pdf>>. Acesso em 24 jun. 2013.

[12] **Path Loss and Link Budget**, Disponível em: <https://osmocom.org/attachments/download/2615/path_loss_link_budget.pdf>

[13] PEREIRA, M.A.B.(2007). **Análise de modelos de propagação na área urbana da região de Curitiba – PR na faixa de frequência de 1800MHz**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 142p. Disponível em <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/12325/AN%C3%81LISE%20DE%20MODELOS%20DE%20PROPAGA%C3%87%C3%83O%20NA%20%C3%81REA%20URBANA%20DA%20REGI%C3%83O%20DE%20CURITIBA%20%E2%80%93%20PR%20NA%20FAIXA%20DE%20FREQ%C3%9C%C3%8ANCIA.pdf?isAllowed=y&sequence=1>>.

[14] **Principles and Applications**. Hawaii Center for Advanced Communications, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI 96822, USA. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7152831>>

[15] YUN , Zhengqing ; ISKANDER, F. **Magdy. Ray Tracing for Radio Propagation Modeling:**

[16] SOARES, M. J. Antonio ; SILVA, C. Franklin. **ANTENAS E PROPAGAÇÃO**. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília. Agosto de 2003. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://galileu.radiocb.com/ebooks/AntenasTexto_1.pdf>