



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR - CARAÚBAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FRANCISCO GUILHERME REGO BRASIL

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA PREDIÇÃO DE SINAL DE COMUNICAÇÃO
SEM FIO NA CIDADE DE CARAÚBAS - RN

CARAÚBAS - RN

2023

FRANCISCO GUILHERME REGO BRASIL

REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS PARA PREDIÇÃO DE SINAL DE COMUNICAÇÃO SEM
FIO NA CIDADE DE CARAÚBAS - RN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
do Centro Multidisciplinar - Caraúbas da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
como requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos
Gurgel da Silva Segundo

CARAÚBAS - RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

BB823 Brasil, Francisco Guilherme Rego .
r Redes neurais artificiais para predição de
 sinal de comunicação sem fio na cidade de caraúbas
 - RN / Francisco Guilherme Rego Brasil. - 2023.
 95 f. : il.

 Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
 Segundo.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
 Elétrica, 2023.

 1. Estação Rádio Base. 2. Modelo de Propagação.
 3. Perda. 4. Rede Neural Artificial. 5. Sinal. I.
 Segundo, Francisco Carlos Gurgel da Silva,
 orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO GUILHERME REGO BRASIL

**REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS PARA PREDIÇÃO DE SINAL DE COMUNICAÇÃO SEM
FIO NA CIDADE DE CARAÚBAS – RN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
como parte dos requisitos para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Caraúbas, 19 de Maio de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SE
Data: 22/05/2023 22:28:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDO
UFERSA



Documento assinado digitalmente
ADELSON MENEZES LIMA
Data: 22/05/2023 15:30:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ADELSON MENEZES LIMA
UFERSA



Documento assinado digitalmente
ADLLER DE OLIVEIRA GUIMARAES
Data: 22/05/2023 08:55:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ÁDLLER DE OLIVEIRA GUIMARÃES
UFERSA

Dedico este trabalho a todos que buscam conhecimento e aprofundamento no tema em questão. É dedicado para aqueles que tem interesse pela pesquisa, pelo desenvolvimento da sociedade e que acreditam na educação como forma de avanço social.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar comigo durante toda minha trajetória acadêmica e esclarecer o motivo de determinados acontecimentos ocorrerem em seu respectivo tempo. Se o tempo de Deus não falha, a minha fé também não falhará.

Agradeço a minha mãe Maria de Fátima e ao meu Pai Francisco Brasil por toda paciência, cuidado, ajuda e atenção que tiveram comigo ao decorrer de todos esses anos, são os meus pilares e minha base, são pessoas de pulso forte e que me inspiram todos os dias a lutar por minhas conquistas.

Agradeço ao meu orientador Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo pela paciência, parceria, disponibilidade e ajuda nesse projeto.

Agradeço a COAE Caraúbas, pela assistência e apoio estudantil, por buscarem recursos para ajuda e custeio de minha permanência na instituição assim como de outros estudantes.

Agradeço a todos que fazem a UFERSA acontecer, ao pessoal da biblioteca, seguranças, motoristas, auxiliares de limpeza, técnicos administrativos, técnicos dos laboratórios, colaboradores e professores.

Agradeço aos meus amigos próximos, por me apoiarem nessa caminhada, aos colegas de curso que fiz durante a graduação, as pessoas ao qual convivi e a todos que me ajudaram de maneira direta e indireta e que tornaram os meus dias mais leves aqui nessa instituição, sintam-se abraçados.

Por fim agradeço a todos que me ajudaram chegar até aqui, foi uma longa caminhada, com grandes obstáculos muita gente contribuiu para que as coisas realmente andassem e sou extremamente grato por tudo, espero que o trabalho também possa ajudar e contribuir de forma relevante a comunidade acadêmica como forma de agradecimento por todo conhecimento até aqui repassado.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros
de gigantes.”

(Isaac Newton)

RESUMO

Diante dos problemas que os usuários enfrentam no uso diário relacionados a comunicação sem fio móvel um deles é a perda de potência de sinal. Utilizando-se dos conhecimentos da rede neural artificial (RNA) e os modelos que a mesma dispõe, o respectivo trabalho realizou um levantamento de dados relativos a predição de sinal 4G no município de caraúbas localizado no estado do Rio Grande do Norte. Considerou-se um raio de sensoriamento de 4 Km no entorno de uma estação rádio base (ERB) localizada no centro da cidade. Foram consideradas variações a cada 45° de ângulo em relação a ERB e testes a cada 500 metros, nos testes foi avaliado a potência de sinal recebida, a latência e as velocidades de *upload*, e *download*. A extração dos dados de testes ocorreu por dois aplicativos, o *Info sinal de rede* e o *Open Signal*, um terceiro aplicativo foi utilizado para medições de distância. O modelo de treinamento da rede utilizado foi o de retropropagação por meio do algoritmo *Levenberg-Marquardt Backpropagation*, 90% dos dados foram utilizados para treinar a rede 5% para validação e 5% para teste. O algoritmo de aprendizado e treinamento foi desenvolvido no *software MatLab* e comparado com os modelos de propagação no espaço livre e o modelo Hata. Com os resultados medidos, é apresentado o erro quadrático médio da rede e gráficos que expressam o sinal da potência recebida nos quadrantes analisados, para os demais itens avaliados nos testes, é apresentada uma comparação geral do comportamento da rede. Por fim é discutido as localidades do município que possuem maior perda de sinal e a localidade com um melhor sinal, relacionando possíveis agentes causadores, sugestões de melhorias para operadora analisada e projeções para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Estação Rádio Base. Modelo de Propagação. Perda. Rede Neural Artificial. Sinal.

ABSTRACT

Faced with the problems that users face in daily use related to communication, one of them is the loss of signal strength. Using the knowledge of the artificial neural network (ANN) and the models that it provides, the respective work carried out a survey of data related to the prediction of 4G signal in the municipality of caraúbas located in the state of Rio Grande do Norte. It was considered a ray of 4Km sensing around a radio base station (ERB) located in the center of city. Variations were considered at every 45° of angle in relation to ERB and tests at every 500 meters, in the tests the received signal strength, the latency and the speeds of upload, and download. The extraction of test data occurred by two applications, *Info sinal de rede* and *Open Signal*, a third application was used for distance measurements. The network training model used was through the algorithm Levenberg-Marquardt Backpropagation, 90% of the data were used to train the network, 5% for validation and 5% for test. The learning and training algorithm was developed in the *MatLab software* and compared with the free space propagation models and the Hata model. With the measured results, the mean squared error of the network is presented and graphs that express the received power signal in the analyzed quadrants, for the other items evaluated in the tests, a general comparison of the behavior of the network is presented. Finally, the localities of the municipality that have the greatest loss of signal and the locality with a better signal are discussed, relating possible causative agents, suggestions for improvements for the analyzed operator and projections for future work.

Keywords: Artificial Neural Network. Base Radio Station. Loss. Propagation Model. Signal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linhas telefônicas em escala de milhões durante 1921 á 1965	19
Figura 2 – Ciclo da informação	22
Figura 3 – Classificações dos tipos de rede	25
Figura 4 – Raio de sensoriamento	26
Figura 5 – Redes de sensores sem fio	26
Figura 6 – Evolução das gerações 1G a 5G	31
Figura 7 – zonas de Fresnel	32
Figura 8 – Modelo ITU P.1546 para 2000 <i>MHz</i> em caminho terrestre por 50% do tempo	37
Figura 9 – Estrutura de um neurônio humano real	40
Figura 10 – Neurônio Artificial	43
Figura 11 – Modelo de rede neural com camada única	43
Figura 12 – Modelo de rede neural com camadas múltiplas	44
Figura 13 – Modelo de rede neural recorrente	44
Figura 14 – Função Degrau	45
Figura 15 – Função Linear	45
Figura 16 – Função Sigmóide	46
Figura 17 – Função Tangente Hiperbólica	46
Figura 18 – Modelo de <i>Backpropagation</i>	48
Figura 19 – Fluxograma de procedimentos do projeto	49
Figura 20 – Caraúbas - Rio Grande do Norte	50
Figura 21 – ERBs em caraúbas	50
Figura 22 – ERB escolhida	51
Figura 23 – ERB de referência	51
Figura 24 – Especificações do <i>Redmi note 10 PRO</i>	52
Figura 25 – Interface do aplicativo <i>Info sinal de rede</i>	53
Figura 26 – Interface do aplicativo <i>Open Signal</i>	53
Figura 27 – Modelo esquemático de coleta de dados	54
Figura 28 – Marco de referência inicial	56
Figura 29 – Raio de sensoriamento de 500 metros no aplicativo <i>Adidas Running</i>	57
Figura 30 – Modelo esquemático da rede neural para potência recebida	58
Figura 31 – Modelo esquemático da rede neural para Latência	59

Figura 32 – Modelo esquemático da rede neural para download	59
Figura 33 – Modelo esquemático da rede neural para Upload	60
Figura 34 – Projeção do Mapeamento	60
Figura 35 – Mapeamento Realizado	61
Figura 36 – Resultado de coleta da potência para 500 metros	61
Figura 37 – Treinamento da potência recebida pela rede neural no Matlab	63
Figura 38 – Potência recebida no primeiro quadrante	64
Figura 39 – Potência recebida no segundo quadrante	65
Figura 40 – Potência recebida no terceiro quadrante	66
Figura 41 – Potência recebida no quarto quadrante	66
Figura 42 – Erro médio quadrático da Potência recebida	67
Figura 43 – RNA para Latência	68
Figura 44 – Erro médio quadrático para a latência	69
Figura 45 – RNA para <i>Download</i>	70
Figura 46 – Erro médio quadrático para <i>Download</i>	70
Figura 47 – RNA para <i>Upload</i>	71
Figura 48 – Erro médio quadrático para upload	72
Figura 49 – Comparativo entre RNA e modelos de propagação	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela contento os principais acontecimentos na telecomunicação mundial .	17
Tabela 2 – Modelo de testes coletados	55
Tabela 3 – Divisão de bairros por quadrantes	55
Tabela 4 – Distâncias e ângulos entre bairros de Caraúbas-RN	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	HISTÓRICO DAS COMUNICAÇÕES	15
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Objetivo Geral	20
1.2.2	Objetivos Específicos	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
1.4	MOTIVAÇÃO	21
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	CONCEITO DE COMUNICAÇÃO	22
2.2	DEFINIÇÃO DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO	24
2.3	EVOLUÇÃO DO SINAL DE CONEXÃO MÓVEL	28
2.3.1	1ª Geração - 1G	29
2.3.2	2ª Geração - 2G	29
2.3.3	3ª Geração - 3G	30
2.3.4	4ª Geração - 4G	30
2.3.5	5ª Geração - 5G	31
2.4	PROPAGAÇÃO DE SINAL	31
2.5	MODELOS DE PROPAGAÇÃO	34
2.5.1	Perda em espaço livre	34
2.5.2	Modelo Hata	34
2.5.3	Modelo Egli	35
2.5.4	Modelo Ericsson 9999	35
2.5.5	Modelo ECC-33	36
2.5.6	Modelo ITU	37
2.5.7	Modelo ITU-R	37
2.5.8	Modelo FITU-R	38
2.5.9	Modelo COST-235	38
2.6	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	39
2.6.1	Modelos de RNA	41

2.6.1.1	<i>Neurônio Booleano de McCulloch</i>	41
2.6.1.2	<i>Neurônio artificial</i>	42
2.6.2	Arquitetura da rede neural	42
2.6.2.1	<i>Redes alimentadas com camada única</i>	43
2.6.2.2	<i>Redes alimentadas com camadas múltiplas</i>	43
2.6.2.3	<i>Redes Recorrentes</i>	44
2.6.3	Funções de Ativação	45
2.6.4	Aprendizado da RNA	46
2.6.4.1	<i>Modelo Backpropagation</i>	47
3	METODOLOGIA	49
3.1	LOCALIDADE ANALISADA	49
3.1.1	ERB - Estação Rádio Base	50
3.2	COLETA DE DADOS	52
3.2.1	Dados extraídos na pesquisa	53
3.2.2	Procedimento dos testes	54
3.3	MAPEAMENTO DA CIDADE	55
3.3.1	Marco de referência	55
3.3.2	Distância entre pontos	56
4	RESULTADOS	58
4.1	MONTAGEM DA REDE NEURAL	58
4.2	RESULTADO DA COLETA	60
4.3	RESULTADOS DA REDE NEURAL	62
4.3.1	Resultados do treinamento da potência recebida	63
4.3.2	Resultados do treinamento para Latência	67
4.3.3	Resultados do treinamento para <i>Download</i>	69
4.3.4	Resultados do treinamento para <i>Upload</i>	70
4.4	COMPARATIVO COM MODELOS DE PROPAGAÇÃO	72
4.5	PANORAMA GERAL DO MAPEAMENTO PARA A CIDADE	73
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	76
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXOS	79
	ANEXO A – Código Matalab para treinamento da rede	80

ANEXO B – Código em matlab para gráficos de saída	81
ANEXO C – Código em matlab para modelos de propagação	82
ANEXO D – Dados coletados	83

1 INTRODUÇÃO

Diante das constantes evoluções e desafios enfrentados na atual geração, os indivíduos precisam de demanda computacional móvel para atender as tarefas diárias sejam elas simples ou de maior complexidade. Desse modo, surge uma questão que necessita ser suprida e atendida. Nesse caso, tem-se uma constante evolução nessa área em virtude de fatores como velocidade de informação precisa, obsolescência dos aparelhos, perda de sinal, etc. Os dispositivos móveis possuem um nome genérico denominado de “Handhelds”, a definição para esse tipo de nomenclatura está associada para pequenos dispositivos portatéis, os quais são atualmente conhecidos como telefones, celulares, GPS (*Global Positioning System*), câmeras, dispositivos de música, dentre outros (LOUREIRO *et al.*, 2003).

Dentre os segmentos computacionais móveis que a maioria dos usuários utiliza, é possível mencionar alguns dispositivos como laptops, notebooks, desktops e telefones celulares os principais utilizados no uso diário. Para que seja minimizado as falhas no acesso a rede, é necessário analisar os caminhos e aspectos presentes no ambiente da computação móvel, no geral esses dispositivos podem ser atrelados a uma rede fixa que é cabeada, ou uma rede móvel sendo esta o objeto de estudo no presente projeto (LOUREIRO *et al.*, 2003).

O respectivo trabalho adota uma análise no estudo da potência de sinal no município de Caraúbas - RN. O mesmo terá respectivas abordagens referentes ao estudo de redes neurais artificiais (RNA), a perspectiva do projeto é averiguar locais aos quais a potência de sinal no município tem uma melhor qualidade para uso de rede móvel sem fio e com isso realizar alguns levantamentos visto os resultados obtidos.

Para abordar tal assunto, o ideal é que se tenha conhecimentos prévios sobre a teoria de redes neurais artificiais. Nesse quesito, essa ferramenta tem uma forte consolidação para solução de problemas atuais, dentre os quais é notório destacar contratempos com alta complexidade, modelagem de dados, algumas configurações estatísticas e computacionais. RNA são no geral aplicadas a problemas que possam envolver distintas variáveis entretanto com um comportamento desconhecido (KOVÁCS, 2002).

De modo generalista, a teoria das redes neurais, tem como principal base, modelos de estudo similares a neurônios biológicos. Em seu estudo uma rede neural se baseia no princípio do cérebro humano quando o mesmo é condicionado a desempenhar alguma tarefa. O modelo matemático respectivo ao estudo de RNA, é datado em 1943 e foi proposto por Warren McCulloch e Walter Pitts. Esse modelo consiste em um conjunto que possui “n” entradas e

sendo essas multiplicadas por um determinado peso, com isso os resultados podem ser somados e devidamente comparados. Para implementar uma RNA se faz necessário implementar suas variáveis que no geral são o número de nós da camada na entrada, o número de camadas escondidas e os que precisam ser adicionados a estas camadas, e por fim o número de neurônios na camada de saída (FLECK *et al.*, 2016).

Visto essa necessidade que o indivíduo tem de estar conectado nos dias atuais, é imprescindível que se tenha uma constante evolução compucional e consequentemente os dispositivos relacionados, tais como a rede de acesso, assim surge um novo paradigma computacional, no qual o usuário deve ter alcance a uma rede fixa ou móvel, mas que lhe entregue o acesso que precisa. Para caracterizar esse paradigma, pode-se elencar três elementos, sendo eles: o tipo e capacidade do processamento, a mobilidade que o usuário e a rede terão e o meio que será usado para essa comunicação, ou seja o elemento computacional que o mesmo está utilizando para realizar o elo entre a comunicação e a rede (LOUREIRO *et al.*, 2003).

1.1 HISTÓRICO DAS COMUNICAÇÕES

O processo de comunicação sempre esteve presente e tem um papel fundamental nas relações humanas, tendo em vista que desde os modelos mais primitivos o homem sempre buscou maneiras de se comunicar. Assim um processo comunicativo pode ser interpretado de maneira simples, por exemplo; existe uma entidade que será assumida como emissor, o mesmo codifica a mensagem e envia por alguém meio, tal meio assume o nome de receptor e o mesmo terá o papel de interpretar essa informação e descodifica-lá. Nesse caso, para que a mensagem chegue ao destinatário final, o emissor e o receptor terão de possuir o mesmo repertório em comum; ou seja, ambos devem se entender a fim de que a codificação embutida na mensagem seja de conhecimento de ambas as partes presentes em seus repertórios (SILVA, 1995).

Embora hoje se tenha sistemas comunicativos interligados e de fácil acesso, o mesmo não aconteceu em um contexto histórico, no qual o homem sempre enfrentou muitas barreiras que o impediam de realizar comunicações a distância, ou seja o mesmo era isolado em virtude das barreiras naturais existentes como rios, montanhas e oceanos. As necessidades de se ter o acesso ao povoado vizinho fizeram com que o mesmo buscasse por meios de se comunicar (FERREIRA, 2004).

A origem da palavra telecomunicações une um termo grego "*Têle*" que significa longe e outro em latim "*Communicatione*"; a junção das duas tem por significado comunicação

à distância. Apesar do nome, a palavra foi designada às formas de comunicação que possuem processos que envolvem algum fenômeno eletromagnético em sua função, assim o termo esta majoritariamente atrelado a ondas de frequência de televisão, rádio, telefone, dados móveis dentre outros (SILVA, 1995).

Em um ponto de vista mundial, a primeira grande evolução tecnológica relacionada as telecomunicações foi sem dúvidas o telefone no ano de 1875 por Graham Bell, antes disso, é inegável que houve por muitos anos uma dificuldade em construir algo prático que gerasse a comunicação entre dois pontos. No ano seguinte o equipamento foi patenteado, e esse ponta pé inicial fez com que ao longo dos anos fossem surgindo avanços em relação a tecnologia digital, aos dispositivos móveis, sistemas de telecomunicações a longa distância, satélites, transmissão de dados via satélite, o sinal *Wireless*, e inclusive a própria internet (FERREIRA, 2004).

A partir de tais acontecimentos, será apresentado a seguir um panorama cronológico de forma resumida, dos principais acontecimentos datados no Brasil e no mundo no contexto das telecomunicações até o século XX, conforme é possível visualizar na tabela 1 (SILVA, 1995).

De acordo com o exposto na ordem cronológica dos acontecimentos na tabela 1, o século XX tem como característica o início e a libertação do fio nas telecomunicações, ou seja, se trata da era em que surge o rádio e o desenvolvimento de serviços de radiotelegrafia no país bem como no mundo, é importante ressaltar a importância e a competência de órgãos relacionados ao exército e a marinha cujo interesses administrativos e políticos ajudaram a alavancar e difundir o setor para todos os estados (SILVA, 1995).

Em um contexto global, é possível destacar alguns acontecimentos que revolucionaram o setor telecomunicativo, em 1844 Morse conseguiu transmitir uma mensagem em uma linha metálica entre as cidades de Washington e Baltimore, tal transmissão ficou conhecida como código Morse, com isso o telegráfo foi um dos principais meios de comunicação por cerca de 30 anos, antes de Graham Bell criar o telefone (FERREIRA, 2004).

Em 1870, John Tyndall consegue demonstrar o potencial das fibras ópticas, poucos anos adiante é a vez de Graham Bell em uma parceria com Thomas Watson criarem o telefone. A primeira ligação interurbana foi realizada no ano seguinte a uma distância de 25 km. Seguindo adiante, em 1895, James Maxwell e Heinrich Hertz construíram o primeiro transmissor de rádio utilizando conhecimentos em eletromagnetismo, tais descobertas permitiram o avanço em aéreas de fios nu, fios cobertos e cabos lançados no fundo dos mares (FERREIRA, 2004).

Em 1926, então conhecido como o ano da televisão, um projeto de Jonh Bayard um

Tabela 1 – Tabela contendo os principais acontecimentos na telecomunicação mundial

Ano	Acontecimento
1791	Em Paris ocorre a demonstração de um telégrafo ótico por Claude Chappe.
1794	O telégrafo de Claude Chappe é inaugurado no trecho Paris-Lille.
1844	Os Estados Unidos inauguram a primeira linha de telégrafo rebatizado como "Telégrafo Morse".
1850	No canal da Mancha, França e Inglaterra ligam os portos de Calais e Dover por um cabo submarino.
1852	No Rio de Janeiro é inaugurada uma linha de telégrafo entre a quinta imperial e o quartel do campo.
1854	Dom Pedro II estabelece a primeira rede telegráfica no Brasil, ligando seis pontos militares.
1857	No Brasil é inaugurada a segunda linha de telegrafos ligando Rio de Janeiro a Petrópolis.
1874	Início de concessões estrangeiras no Brasil, Western Telegraph inaugura uma rede telegráfica.
1875	Exército cria a companhia de Telegrafistas militares ligada ao batalhão de engenheiros.
1876	Alexander Graham Bell cria e obtém a patente do telefone em 7 de março.
1879	Dom Pedro II autoriza estabelecimento da primeira Companhia telefônica no Brasil.
1884	São Paulo realiza a inauguração de sua rede telefônica.
1896	Marconi consegue em Londres a primeira patente mundial para telégrafo sem fios.
1898	A França inaugura o telégrafo sem fio, instalada na torre Eiffel com 4Km de distância.
1907	É criada o serviço de rádio da marinha sendo a pioneira e incentivadora por sistemas sem fio.
1911	É criado o sistema de serviço de rádio telegráfico nacional por decreto dos ministros.
1920	Inaugurada a primeira radiodifusão do mundo com programação em Pittsburg nos Estados Unidos.
1924	Criado o primeiro regulamento Civil de radiotelegrafia e radiotelefonia Decreto nº16.657.
1929	A Radional associada a ITT inaugura serviços de telefonia com o exterior.
1935	Se inicia em Londres e na França as emissões de estações de TV.
1938	Brasil cria acordos internacionais com países Sul-Americanos em Buenos Aires.
1939	Neutralidade e censura de comunicações públicas em virtude da segunda guerra mundial.
1942	Brasil declara guerra aos países baixos aumentando a neutralidade nas comunicações.
1944	A Radional é autorizada instalar e operar radiotelefonia no Distrito Federal (RJ) e 20 capitais.
1945	Fim da segunda guerra Getúlio Vargas extingue as medidas restritivas e é deposto.
1950	Primeira estação de televisão da América Latina estreia em São Paulo, futura TV Tupi.
1951	Getúlio volta a presidência baixa o decreto nº29.783 que censurava a radiodifusão.
1952	Regulamentação da televisão no Brasil e plano de distribuição de canais de TV pelo decreto nº31.835.
1960	Criação do serviço nacional de Telex, localizado nos correios e telégrafos.
1962	Lei 4.117 institui o código brasileiro de telecomunicações CBT.
1965	É constituída a EMBRATEL, empresa brasileira de telecomunicações.
1969	Inaugurada a estação terrena de Tanguá, o Brasil passa a integrar-se no sistema de comunicação mundial.
1972	É realizada a primeira transmissão de TV a cores no Brasil em Caxias do Sul.
1977	É inaugurado pela EMBRATEL o serviço de TV executiva com transmissão de TV em circuito fechado.
1982	Inaugurado o cabo telefônico submarino Atlantis ligando Brasil a Europa via África.
1988	Decreto nº96.618 regulamenta serviços públicos restritos e dispõe a permissão de telefonia móvel.
1991	É aprovada a norma específica de telecomunicações para habilitação de serviço móvel celular.

Fonte: Arthur Phillippe (1995).

inglês e Philo Farnsworth, um norte americano, ambos sem ter o devido conhecimento trabalharam no projeto separadamente e sem nenhuma ligação. 20 anos depois em uma universidade na Pensilvânia surge um computador eletônico com cerca de 18 mil válvulas. No ano de 1957, a então união soviética lança o seu primeiro satélite artificial, o Sputnik, e em 1962 é lançado Telstar I, o primeiro satélite a entrar em órbita que era capaz de transmitir conversas telefônicas e sinais de televisão (FERREIRA, 2004).

Por fim, nessa seção de fatos internacionais em 1971 a INTEL cria o microprocessador, dando início a popularização e ampliação de serviços telefônicos em termos globais, surge a

expansão da internet bem como crescimento de dispositivos digitais (FERREIRA, 2004).

Partindo para um contexto histórico Brasileiro, é possível verificar que durante o império, o setor de telecomunicações foi impulsionado por Dom Pedro II e parte do governo militar da época; desse modo, existiu incentivos à iniciativa privada de algumas empresas para que se estabelecesse a difusão inicial da mesma. Após isto, entra-se na era da república, iniciando o processo de algumas descentralizações das telecomunicações, é então visto o início das bases para expansão de sistemas sem fio como a tecnologia do rádio, radiotelefonia e radiotelegrafia (SILVA, 1995).

Com a segunda guerra mundial, foi possível observar um congelamento dos avanços que vinham ocorrendo. Em virtude do clima tenso enfrentado pelo planeta, foi-se implantado o controle e a censura com forte intensificação no Brasil com a localização de aparelhos que tentassem se comunicar a distância. Passado a guerra e a volta de Getúlio Vargas ao poder na década de 50, tem-se impactos na radiofusão. Com isso, ele cria uma rígida supervisão aos serviços regulamentadores de TV que haviam iniciados e a rádio (SILVA, 1995).

No governo de Juscelino Kubitschek, na década de 50 é então gerenciada políticas as quais tem como por objetivo a implementação de empresas fabricantes de equipamentos com incentivos fiscais. É nessa época que se dá a instalação do serviço nacional Telex, no qual se tem a criação de um sistema de microondas ligando algumas capitais da época que eram Brasília, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Na década seguinte, o governo cria políticas voltadas para regulamentação de programações de rádio e televisão; desse modo, a radiofusão criava censura prévia de programas, tal acontecimento já acontecia no governo de Jânio Quadros (SILVA, 1995).

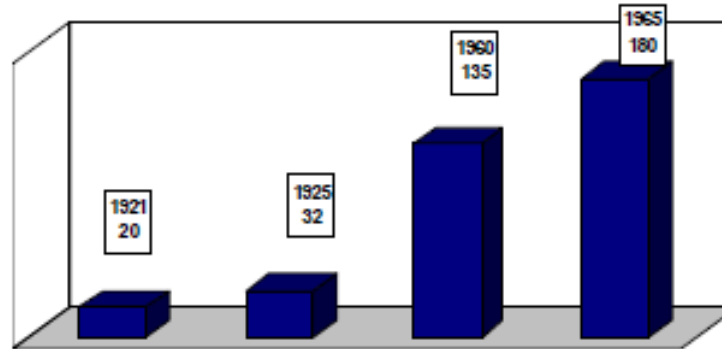
Em 1962, entrava a era espacial o setor de telecomunicações mundial, se planejava adentrar ao espaço lançando satélites à órbita. Nesse mesmo ano o Brasil se encontrava com serviços telefônicos em um quadro estagnado e sem relativas mudanças, e o pior é que haviam tarifas insuficientes para as concessionárias vigentes (SILVA, 1995).

Com a intervenção militar em 1964, os militares deram um grande avanço no setor, tendo em vista que os mesmos foram responsáveis por implementar a CONTEL. Foi criado um fundo nacional de telecomunicações denominado de (FNT). Diante desse cenário foi então aprovada o código brasileiro de telecomunicações CTB, para implementação desse código foi então constituída a EMBRATEL (SILVA, 1995).

Na figura 1 é apresentado um gráfico que mostra o crescimento em milhões referente ao número de linhas telefônicas ao longo de 40 anos até o período da intervenção militar no

Brasil. É possível notar que a partir da primeira guerra mundial o setor de telecomunicações sofre uma crescente ascensão no mercado (FERREIRA, 2004).

Figura 1 – Linhas telefônicas em escala de milhões durante 1921 á 1965



Fonte: Siqueira (2000)

Na década de 70, a EMBRATEL atuava até então com serviços internacionais, e por visarem a promoção de uma inclusão com autonomia industrial, surge uma empresa voltada a esse setor denominada TELEBRÁS, a mesma passa a aplicar algumas quebras nos contatos vigentes, assim algo em torno de 800 empresas de pequeno porte atuantes no setor passam a receber serviços em cada estado federativo por uma única empresa (SILVA, 1995).

Nos anos 80 o setor de telecomunicações brasileiro sofre um grande processo produtivo, sendo citado inclusive em relatórios mundiais, caracterizando o país com boa eficiência no sistema e tendo bons índices de confiabilidade para comunicações internacionais. Entretanto, em 1985 o serviço sofre com problemas na falta de investimentos no setor, já que o governo não queria trazer recursos havendo cortes e superávits em algumas empresas.

Alguns anos mais adiante na contextualização e fatos históricos já nos anos 90, o vigente governo era o de Fernando Collor, o setor passa a ter maior tendência e abertura a iniciativa privada e se tem a retomada de investimentos. O setor estava majoritariamente com posse da TELEBRÁS (SILVA, 1995).

Com a retomada do crescimento no setor algumas empresas brasileiras conseguiram se associar em cooperativas internacionais e o marco dessa regulação agora passa a ser responsabilidade da nova agência nacional de telecomunicações popularmente conhecida por ANATEL, que gerencia políticas de privatizações e operações em telefonia móvel até os dias atuais (FERREIRA, 2004).

Embora que lenta, mas com crescimento consistente, é visível que o setor de telecomunicações no Brasil até o século XX sofre fortes influências políticas e o avanço do setor

depende de investimentos e iniciativas do governo, tanto públicas como privadas. O modelo segue por constantes fragilidades, uma vez que ao longo das décadas acordos são desfeitos, empresas são fechadas e novas empresas surgem para atender as novas demandas. O modelo adotado para distribuição de telecomunicações deve ser embassado em conhecimentos científicos e não em percepções casuais para benefícios próprios de terceiros tendo uma vida útil de pequena duração (SILVA, 1995).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Aplicar a ferramenta de redes neurais artificiais na pesquisa e realizar a predição de sinal na rede móvel de telefonia sem fio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar redes neurais artificiais e aplicar um modelo de rede para a problemática em questão;
- Realizar levantamento nas áreas de análise;
- Mapear as áreas selecionadas;
- Coletar os dados em campo;
- Analisar se os resultados obtidos estão próximos dos valores esperados;
- Apresentar possíveis locais com potência de sinal melhor;
- Apresentar possíveis soluções para a problemática.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diante dos avanços tecnológicos existentes na atualidade, a velocidade de informação e o acesso a comunicação é constante no dia a dia das pessoas, para que isso aconteça de forma eficiente é necessário que se tenha acesso rápido e de qualidade a rede ao qual o usuário está inserido. Nesse sentido, a potência de sinal para tais condições deve atender os requisitos básicos de seus usuários, diante dessa necessidade é inviável que a conexão seja perdida ou sobreposta por outro sinal, já que o “mundo digital” não admite a perda de tempo no acesso a informação.

A internet globaliza e viabiliza o acesso em tempo real a dados e informações que

hoje em dia são indispensáveis para a relação moderna do homem dessa geração. Nesse sentido buscando viabilizar e consequentemente ajudar na melhor distribuição da rede, o respectivo trabalho surge como uma proposta de mapeamento os principais pontos de acesso da cidade de Caraúbas na perspectiva de analisar o sinal nas localidades e averiguar quais os melhores pontos do município o sinal sem fio possui qualidades aceitáveis para a respectiva rede. Com isso, será possível viabilizar a busca de melhorias na conexão para os usuários locais e futuras ferramentas e ou usuários dependentes da rede que podem surgir ao decorrer do tempo.

1.4 MOTIVAÇÃO

A problemática do respectivo projeto é buscar os possíveis agentes causadores da perda de potência do sinal de rede móvel sem fio nos locais mapeados na cidade. Para isso, será implementado o estudo das redes neurais aos respectivos pontos no município de Caraúbas. O objetivo será mapear alguns pontos da cidade utilizando-se do conhecimento de redes neurais artificiais e analisar os melhores pontos dentro dos locais mapeados onde a potência de sinal possui uma boa qualidade de uso, com as menores perdas possíveis e com bom desempenho aos usuários. Ao final do projeto, será possível visualizar os possíveis locais aos quais é possível ter uma melhor conexão, e com isso realizar levantamentos das áreas em questão analisadas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é estruturado por capítulos, seções e subseções. No Capítulo 2, define o referencial teórico para a pesquisa e análise dos dados coletados, é dividido em tópicos que abordam conceitos de comunicação, evolução do sinal de conexão móvel, os principais modelos de propagação de sinal e conceitos sobre a redes neurais bem como seus modelos. A metodologia, no Capítulo 3, tem-se como foi realizado o trabalho, desde a coleta de dados até a montagem da rede neural para as devidas análises. O Capítulo 4 é o responsável pelos resultados, levantamentos e discussões acerca dos resultados obtidos. Por fim, o Capítulo 5 tende a concluir as ideias e os resultados que foram obtidos nessa pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

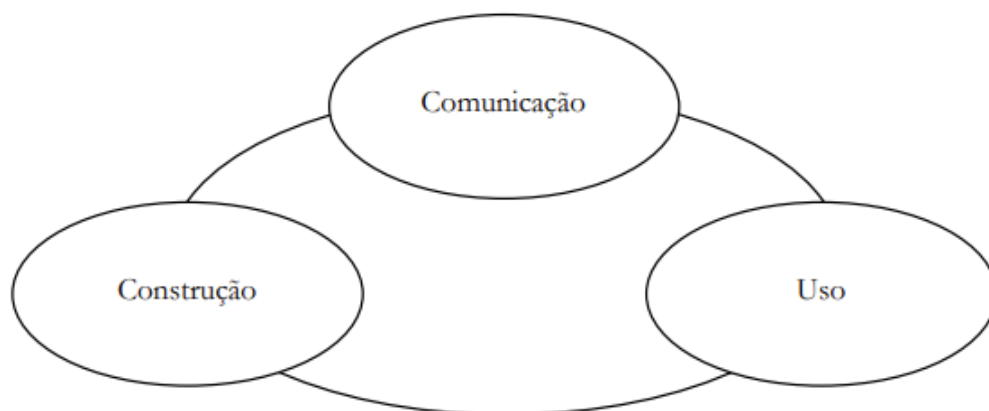
Para as devidas fundamentações e embasamentos teóricos sobre a pesquisa, será apresentado seções que abordam conceitos de comunicação, evolução do sinal de conexão móvel, modelos de propagação de sinais e redes neurais artificiais. conceitos

2.1 CONCEITO DE COMUNICAÇÃO

O conceito da comunicação parte do conceito da informação, e o mesmo envolve muitas perspectivas, embora pareça ser algo relativamente simples, não é tão trivial para Buckland (1991) pois por exemplo o termo é bem contraditório e seu emprego apresenta bastante ambiguidade, para o autor o mesmo pode ser definido em três tipos de uso. O primeiro seria uma informação relacionada ao processo, é o ato de um indivíduo ser informado sobre algo. O segundo seria uma informação a título de conhecimento a mesma é gerada com um processo, atrelada a algumas origens. E o terceiro caso seria uma informação empregada para se referir a objetos, dados, documentos entre outros (ROZA, 2017).

Assim para Le Coadic (1996), a informação parte de um conhecimento que pode estar escrito, de forma visual, ou algo posto de forma oral ao indivíduo. O mesmo aponta um ciclo da informação cujo o modelo corresponde a um processo social de comunicação, para ele a informação passa por três processos que são interligados entre si, seriam eles a comunicação, a construção e o uso, conforme a Figura 2 (ROZA, 2017).

Figura 2 – Ciclo da informação



Fonte: Le Coadic (1996)

Existe ainda um ciclo para a informação que segue um modelo social de comunicação que possui bastante relevância para a sociedade, a mesma segue uma relação bilateral entre o

informante e o informado. Dessa maneira, a comunicação ocorrerá entre uma relação linear que envolve um emissor e um receptor (ROZA, 2017).

É importante evidenciar que para se ter um processo de transmissão de dados sejam eles analógicos ou digitais, existem elementos importantes que devem realizar a ligação entre o transmissor e o receptor. Tal meio será denominado de protocolo ou código, o mesmo é carregado por algum meio físico de transmissão (FEY; GAUER, 2016).

Em geral, um sistema de telecomunicação tem 3 eixos importantes; O primeiro seria a comutação que se objetiva em realizar a ponte de acesso entre a central de operação e o assinante do serviço; O segundo seria a transmissão, nesse processo existem equipamentos que realizam a multiplexação, modulação e transmissão dos sinais; Já o terceiro eixo é a rede de acesso, ou seja seria a forma ao qual o usuário e a rede estão interligados seja por um meio físico utilizando algum cabeamento, ou algum tipo de aparelho eletrônico (FEY; GAUER, 2016).

Um sistema de transmissão é constituído por alguns processos até que se tenha a mensagem em seu destinatário final. De início tem-se uma informação que é gerada pelo emissor, na sequência a transmissão que necessita da utilização de símbolos que são justamente os códigos, tais símbolos são codificados por diversos métodos para que os mesmos possam ser transmitidos pelo meio físico em forma de sinal, ao chegar no destino os símbolos são então decodificados e reproduzidos, por fim na última etapa a informação é recriada pelo receptor. A mensagem ao final do processo pode perder qualidade em virtude de ruídos que existem ao longo do caminho (FEY; GAUER, 2016).

Pode-se definir alguns conceitos para sinal, mensagem e informação (FEY; GAUER, 2016):

- Sinal - Se trata de uma onda que se propaga por algum meio físico seja o ar, fios, cabos, etc. Irá corresponder a materialização da informação através da codificação que foi utilizada no momento da transmissão.
- Mensagem - A mensagem é uma linguagem que transmissor e receptor devem entender ou seja ambos devem entender a ideia transmitida pelos símbolos utilizados, caso contrário a mensagem não poderá ser compreendida.
- Informação - Está associada a uma ou mais ideias manipuladas, ou seja um conjunto de ondas irá transmitir uma informação, um conjunto de dados será criado e tudo será processado.

O sinal possui propriedades físicas que envolvem grandezas como valores de correntes

e voltagens, e podem ser representadas por funções que variam em relação ao tempo. Assim utilizando-se de uma ferramenta matemática denominada por transformada de Fourier, é possível descrever qualquer função associando um somatório de senos e cossenos, a mesma tem como utilidade transformar um sinal que está em função do tempo para o domínio da frequência (FEY; GAUER, 2016).

Na equação (1) é possível visualizar a série de Fourier:

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cdot \cos\left(\frac{n\pi t}{L}\right) + b_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{L}\right) \right] \quad (1)$$

Onde o a_0 corresponde a componente contínua da onda, a_n e b_n correspondem as harmônicas do sinal original.

Com a crescente demanda por acesso a informação, os recursos convergiram em uma base tecnologica alavancando e revolucionando o mundo de modo que as fronteiras fossem quebradas e a abertura de informação tivesse uma maior evolução tecnológica (ROZA, 2017).

2.2 DEFINIÇÃO DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO

Redes sem fio no contexto geral se tratam de pontos de acesso que não utilizam o sistema cabeado, sejam fios telefônicos, cabos coaxiais, fibra ópticas ou qualquer sistema de informação que possui cabos para realizar a conexão. Uma rede sem fio, basicamente utiliza antenas, radiofrequência, transmissão a laser, dentre outros aparatos para disperssar o sinal sem a necessidade de um sistema físico cabeado no dispositivo que irá se conectar a esta rede (LUCA, 2010).

Tais dispositivos que propagam a rede sem fio possuem uma construção que possibilite transmitir e receber sinais de rádio frequência, no geral são definidas bandas de frequência que possuem uma determinada largura ao qual ocupa um relativo espaço no espectro de frequência para o canal escolhido (LUCA, 2010).

Dentre os variados tipos e padrões que podemos ter em uma rede sem fio, destacam-se as conexões: *Bluetooth*, *Wi-Fi (Wireless Fidelity)* e *InfraRed*. Quando se trata de uma rede *Wireless*, esta se caracteriza pela não presença de fios, desse modo há uma fonte transmissora e algum possível dispositivo receptor, essa comunicação é feita por ondas transmitidas via rádio (MENESES, 2011).

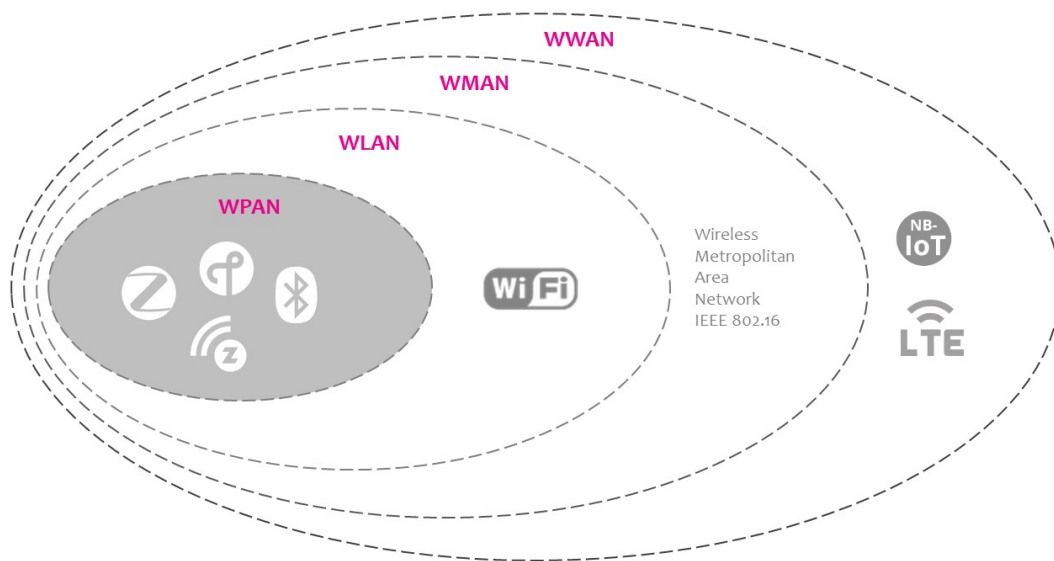
Existem algumas classificações para os tipos de rede conforme a distância e o local dos dispositivos transmissores e receptores bem como as suas utilidades. Abaixo alguns dos

principais tipos de rede (LUCA, 2010).

- Redes Pessoais de curta distância (WPAN - *Wireless Personal Area Network*);
- Redes metropolitanas (WMAN - *Wireless Metropolitan Area Network*);
- Redes de Longas distâncias (WWAN - *Wireless Wide Area Network*);
- Redes locais (WLAN - *Wireless Local Area Network*).

Na Figura 3 tem-se a classificação de alguns tipos de rede em uma escala crescente WPAN, WLAN, WMAN, WWAN. Redes WPAN tem um menor alcance pois são para uso pessoal e pequenas rotinas de acesso pelo usuário; WLAN já corresponde ao sinal de rede sem fio em um determinado ambiente com por exemplo um cômodo, uma casa, um prédio ou um algum ambiente com um limite periférico mais restrito em alguns metros; WMAN se trata de uma rede que possui uma escala de maior alcance e com uma maior limitação de pessoas atendendo uma determinada localidade ou região metropolitana; WWAN já corresponde a um sinal que abrange grandes áreas como por exemplo o sinal de banda larga LTE (LUCA, 2010).

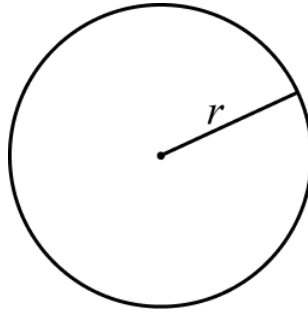
Figura 3 – Classificações dos tipos de rede



Fonte: Felipe Alencar (2020)

Ao relacionar uma área de cobertura de uma rede de sensor de fio, a mesma será coberta pelo dispositivo de sensoriamento cujo nó está relacionado em seu respectivo raio de cobertura, como é representado na Figura 4. Para realizar o cálculo da área que o sinal está situado, é necessário realizar uma discretização do respectivo local e com isso verificar o raio de alcance dos nós que estão em atividade, assim o conjunto de nós que possuem uma maior atividade são os escolhidos para garantir a cobertura local (MENEZES, 2004).

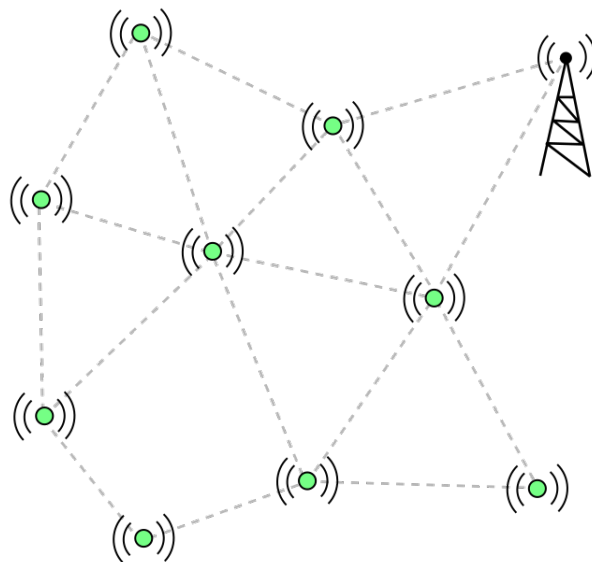
Figura 4 – Raio de sensoriamento



Fonte: Gustavo Menezes (2004)

Outra característica se tratando da cobertura é a disposição ao qual os nós estão na área, a mesma pode ser realizada por duas maneiras a primeira seria uma maneira determinística e a outra é a não determinística, sendo a primeira caracterizada pelos nós em posições pré-definidas e a segunda maneira os nós são lançados na área (MENEZES, 2004). A Figura 5 ilustra uma cobertura de redes de sensores sem fio, na qual é possível ver os nós distribuídos ao longo do espaço interligados entre si e compartilhando os sinais em suas interconexões até a torre transmissora de sinal.

Figura 5 – Redes de sensores sem fio



Fonte: Danilo.mec (2022)

De maneira geral, as redes móveis sem fio, permitem aos seus respectivos usuários o acesso ao serviço e compartilhamento de dados juntamente com a troca de informações, a mobilidade que as redes sem fio proporcionam ao usuário pode ser considerada como um ponto positivo nesse quesito, uma vez que o mesmo pode deslocar-se sem perder a sua conexão. Entretanto, existe uma limitação, visto que as ondas de sinal propagadas possuem uma limitação

de área. Nesse quesito, a mesma pode ser encaixada na topologia de redes sem fio não estruturadas (MENESES, 2011).

Redes sem fio não estruturadas, diferentemente das redes estruturadas, são aquelas que não dependem de uma base de comunicação fixa para transferência de dados. Ou seja, uma rede do tipo não estruturada consegue ser independente e autônoma; nesse sentido, são capazes de implementarem suas próprias funcionalidades em seus próprios nós. Algumas das aplicações para redes não estruturadas, podem ser em áreas de monitoramento, eventos naturais como abalos sísmicos, umidade do ar, regiões subterrâneas ou até mesmo a temperatura ambiente (SILVA *et al.*, 2005).

Quando se parte para a localização das redes, tal processo leva em conta a distância entre os nós que estão pré-definidas em uma posição global, assim, determinar essa distância bem como conhecê-lá ajuda na filtragem de dados. Entretanto, uma alta redundância de posições localizadas muito próximas uma das outras pode melhorar significativamente os resultados apresentados; todavia, seus efeitos negativos surgem na sobreposição do sinal, interferência e atrasos no desempenho da rede (MENEZES, 2004).

A título de informação, existe um grupo denominado *Wireless Local-Area Network Standard Working Group* monitorado pelo IEEE- (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) que possui o objetivo de padronizar e criar parâmetros para as redes sem fio por meio de um protocolo de acesso. Tal padrão é titulado por IEEE 802.11. Dentre as características que uma rede deve possuir, a mesma deve conter robustez para que não haja interferência, oferecer estabilidade, controle de acesso, ter o suporte para vários canais, ter a capacidade de se sobrepor sob outras redes em um mesmo canal (VASCONCELOS, 2002).

Por fim, se elencarmos as vantagens das redes sem fio, temos como destaque a mobilidade que o usuário pode ter dentro de sua área sem perder o acesso, a dispensa de equipamentos de cabeamento e a sua flexibilidade de acesso não ficando limitado apenas ao acesso restrito naquele local, visto que não se faz necessário estações fixas pois os dispositivos utilizados no geral são móveis, como smartphones, notebooks, tablets, dentre outros. Em contrapartida tem-se perdas em relação a velocidade e a perda de sinal com algumas instabilidades conforme o usuário se afasta do ponto de acesso cujo está conectado (VASCONCELOS, 2002).

2.3 EVOLUÇÃO DO SINAL DE CONEXÃO MÓVEL

A conexão móvel parte de alguns preceitos e bases para seu entendimento. O primeiro ponto é que existe um sistema com algumas centrais e estações para que o sinal seja enviado e recebido (GODINHO *et al.*, 2018).

Assim tem-se:

- CCC - Centrais de controle celular
- ERB - Estação Rádio base
- RTPC - Rede de telefonia pública comutada
- TCs - Telefones celulares

As conexões passam primeiro por uma RTPC daquela localidade que encaminha por meio da linha tronco a uma CCC, a mesma transmite o sinal para a ERB mais próxima do cliente assinante, com isso, o sinal é enviado até o mesmo por meio de ondas de sinal via rádio. A comunicação TC necessita apenas que o sinal passe pelas CCC (GODINHO *et al.*, 2018).

Vale evidenciar que cada estação de rádio base possui uma limitação de usuários que podem ser conectados ao seu sistema, desse modo, caso seja ultrapassado esse limite é possível perceber congestionamentos nas linhas e atrasos, para contornar essa situação existem técnicas de setorização. A idéia do método é basicamente mudar as antenas unidirecionais por antenas direcionais com variações na angulação, desse modo, é possível garantir uma significativa redução da interferência nos canais (GODINHO *et al.*, 2018).

É necessário ainda evidenciar o processo de modulação ocorrente, se trata basicamente em transformar um sinal que carrega uma informação em um sinal modulado adequado para ser transmitido. Existem dois tipos de modulação, a analógica e a digital (GODINHO *et al.*, 2018).

A modulação analógica se caracteriza por ser contínua e cossenoidal e possui suas subdivisões, onde se terá variações na fase, amplitude ou frequência.

- AM - Modulação por amplitude
- FM - Modulação por frequência
- PM - Modulação por fase

Na modulação digital o que se tem é um número finito de formas de ondas, assim as mensagens irão fazer parte de um conjunto finito de valores discretos havendo a necessidade de um chaveamento nas modulações (GODINHO *et al.*, 2018).

2.3.1 1ª Geração - 1G

A primeira geração tinha uma tecnologia denominada de AMPS (*Advance Mobile Service*), usando um múltiplo acesso por divisão, utilizando a modulação de frequência, esse sistema era bem analógico e só era possível usar um tráfego de voz, sendo bem limitado com um canal direto e outro reverso no qual as transmissões são feitas simultaneamente em dois sentidos, o sistema foi desenvolvido por Bell (GODINHO *et al.*, 2018) (SANTANA, 2016).

Existia uma grande preocupação com a segurança do sistema pois era considerada fraca, de modo que era possível utilizando alguns equipamentos escutar ou reproduzir conversas de terceiros, além de haver linhas cruzadas e bastante interferências no sistema. Com a crescente demanda no serviço constatou-se que os sistemas analógicos eram bastante problemáticos e causavam grandes transtornos aos usuários (SANTANA, 2016).

2.3.2 2ª Geração - 2G

Com a crescente demanda e procura, era necessário aperfeiçoar o sistema, assim surge a segunda geração com o intuito de tornar o espectro de frequência mais eficiente, nessa fase surgiram novas tecnologias, assim destacam-se três destas. O TDMA que tinha um acesso múltiplo por divisão de tempo, o CDMA tinha um acesso múltiplo por divisão de código e o último é o GSM que operava na faixa de 900 a 1800 MHz, utilizando uma combinação de duas técnicas de acesso, o mesmo tinha uma largura de banda de 120KHz com 8 subdivisões (GODINHO *et al.*, 2018) (SANTANA, 2016).

O GSM se destacou pelo uso de cartões que continham memória denominados de SIM (*Subscriber Identity Module*), a segurança melhorou bastante em relação a geração anterior, outra característica é que os aparelhos passaram a possuir uma identificação denominada de IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) (SANTANA, 2016).

Dentro da segunda geração ainda houve um avanço que permitiu que os dados pudessem ser divididos em pacotes possibilitando a conexão com maior durabilidade de dados e melhores taxas de transmissão, essa evolução era chamada de rede 2,5G ou ainda denominada de EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) (GODINHO *et al.*, 2018).

2.3.3 3ª Geração - 3G

Visando melhorias a terceira geração surge com alterações em relação a anterior e é caracterizada pela oferta de rede banda larga sem fio. Os usuários não se contentavam mais apenas em mandar mensagens ou ter acesso a ligações, o 3G teve que se adaptar e incorporar o acesso à internet além ter que incluir serviços multimídia, como consequência as taxas de dados ficaram muito maiores quando comparadas com a geração anterior (GODINHO *et al.*, 2018).

As faixas de frequências aumentaram, com isso se tem um intervalo entre 900MHz a 2100MHz podendo atingir velocidades entre 220Kbps a 320kbps. O serviço passou a oferecer um pacote de acesso a banda larga denominado de WCDMA, usando uma tecnologia HSPA (*High Speed Downlink*) (SANTANA, 2016).

Em relação a segurança, o 3G já possuía consideráveis avanços como a criação de algoritmos para autenticação, o sistema 3G é baseado em dois modelos que são o UMTS e o CDMA-2000 (SANTANA, 2016).

No Brasil a primeira empresa a implantar o 3G foi a vivo no ano de 2004, entretanto o serviço era disponibilizado em algumas cidades. Nos dias atuais a rede abrange todo o território nacional, contudo cidades localizadas no interior são as mais afetadas devido a pouca quantidade de antenas, outra característica é que o 3G possui recursos como o GPS e serviços de localização geográfica (SANTANA, 2016).

2.3.4 4ª Geração - 4G

Por volta de 2007, no Japão, a quarta geração mais popularmente conhecida como 4G surgiu com uma comunicação bilateral para voz, vídeos e dados, o serviço trouxe uma boa qualidade e conseguiu melhorar ainda mais o serviço aos seus usuários móveis. A velocidade nessa geração permite que os dados sejam transferidos em altas taxas de velocidade como por exemplo megabits (SANTANA, 2016).

O 4G utiliza o IP e traz ainda mais segurança ao usuário do que a geração anterior, sendo composto por redes celulares e redes sem fio (*Wireless*), as chamadas telefônicas possuem uma excelente qualidade pois utilizam da tecnologia VoIP *Voice over Internet Protocol* (SANTANA, 2016).

O padrão de tecnologia IP foi projetado para ter uma baixa latência e uma grande eficácia e aproveitamento, o mesmo se subdivide em dois padrões que são o LTE e o LTE

ADVANCE. O LTE utiliza quatro tipos de modulações, e possui diversas aplicações sendo o primeiro padrão a apresentar o OFDMA para diversas aplicações de TV e rádio digital, redes Wifi e WIMAX. Algumas das características principais são a flexibilidade no espectro, alcance de rádio e baixa latência (SANTANA, 2016).

2.3.5 5ª Geração - 5G

A quinta geração já começa em processo de expansão, entretanto ainda não abrange tantas localidades como a geração anterior, se trata de uma geração que tende a trabalhar com um grande tráfego de informações, o mesmo é implementado no “Internet das coisas”, e essa realidade utiliza de dispositivos conectados comunicando entre si bem como carros autônomos e residências com inteligência artificial (SANTANA, 2016).

A Figura 6, mostra uma linha no tempo na qual é possível observar a evolução das gerações conforme já citadas anteriormente nos subtópicos anteriores.

Figura 6 – Evolução das gerações 1G a 5G

1982	1992	2001	2012	2020
1G	2G	3G	4G	5G
				
2.4 kbps	64 kbps	2000 kbps	10000 kbps	1000000 kbps (1GB/s)
Voz	Texto	Internet	Vídeo	Internet das coisas

Fonte: Erick Moraes (2022)

2.4 PROPAGAÇÃO DE SINAL

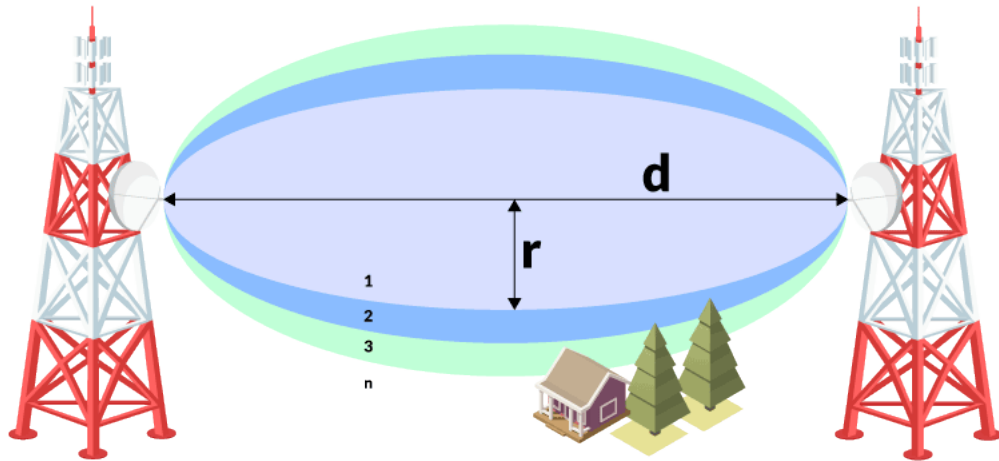
Quando se trata do estudo de propagação para um sinal rádio móvel, existem especificidades no local ou ambiente em questão, é comum que ao longo da trajetória o sinal sofra influências externas ao meio pelo qual se propaga, desse, modo a compreensão do ambiente ajuda a entender possíveis perdas bem como possíveis soluções para melhoria da potência do sinal.

Para estudos nesse caso, se faz necessário levantamentos de dados de caráter estatísticos, os modos de propagação mais conhecidos são a propagação de ondas ionosféricas, ondas topográficas e ondas terrestres. Para sistemas de comunicação usando dispositivos celulares o modo adotado é o terrestre (MELLO, 2012).

Nesse viés, tem-se alguns mecanismos fundamentais para que o cálculo do raio de cobertura seja máximo e o entendimento destes mecanismos é o que irá definir o valor médio do sinal e o enlace (MELLO, 2012).

Para análises e apuramentos de dados entre pontos em um determinado espaço livre, se tem a zona de Fresnel, a mesma analisa a interferência posta por obstáculos que tendem a invadir o caminho do feixe de sinal emitido conforme se pode ver a ilustração da Figura 7.

Figura 7 – zonas de Fresnel



Fonte: PRORED (2018)

A zona de Fresnel é definida como uma série de elipses que são concêntricas ao redor do sistema em análise, a mesma possui n zonas conforme a Figura 7, a primeira zona deve-se manter livre de possíveis interferências, bloqueios ou obstruções sendo recomendado que a primeira zona tenha menos de 20% de obstrução (MELLO, 2012).

A equação para estudo das zonas de Fresnel pode ser expressa em (2):

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2)$$

Para esse caso r_n é o raio da n -ésima zona de Fresnel em metros; d_1 é a distância em metros da primeira antena em relação a algum ponto p arbitrário, d_2 é a distância da segundo

antena em relação ao mesmo ponto e λ é o comprimento de onda do sinal transmitido em metros (MELLO, 2012).

As análises sobre propagação de ondas e sinais, possuem algumas mecanismos de propagação aos quais são de fundamental importância para o cálculo dos respectivos raios de cobertura (MELLO, 2012).

- Visada direta: Se caracteriza em um enlace entre transmissor e receptor que não possui obstáculos em sua frente, desse modo a propagação se dá na maioria dos casos rurais visto que não se há uma densidade de objetos ou componentes causando interferência do sinal.
- Reflexão: A mesma depende da superfície que reflete o sinal e a frequência de propagação, existem fatores que colaboram para a atenuação nesse caso o ângulo de incidência do terreno e a polarização da onda. No geral uma reflexão se caracteriza quando as ondas eletromagnéticas tendem a encontrar empecilho com extensões maiores que a onda propagada. Como consequências a onda chega com atrasos e atenuações.
- Difração: Se assemelha com a reflexão, entretanto, o sinal não é atenuado completamente e o mesmo consegue atravessar os obstáculos presentes no espaço entre o receptor e o emissor, com isso é possível que ondas secundárias possam surgir atrás do obstáculo presente.
- Espalhamento: Para esse caso as ondas encontram com obstáculos que possuem a mesma dimensão do comprimento de onda, com isso o sinal é espalhado em várias direções podendo causar algumas irregularidades ao sinal emitido.
- Refração: Tem como característica um desvio do sinal ao qual a onda se propaga, isso ocorre devido o meio ao qual a mesma é refratada, o desvio afeta o receptor diretamente pois é possível que o sinal não chegue ao destinatário.
- Absorção: Se caracteriza por uma redução de amplitude da onda. A vegetação, por exemplo, absorve parte da onda e com isso o sinal chegará atenuada ao receptor.

É comum que existam perdas no processo, desse modo existem técnicas que irão prever as perdas de sinal, pois fatores como distância das torres, alturas, o trajeto, o ambiente e os obstáculos irão interferir diretamente nas análises (MELLO, 2012). De modo que a análise mais simples que se tem é no espaço livre onde a perda de propagação pode ser expressa pela Equação (3).

$$P_r = P_t G_1 \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3)$$

Em que:

- $P_t \rightarrow$ É a potência transmitida em (dB) ;
- $G_1 \rightarrow$ É o ganho das antenas transmissora e receptora em (dBi) ;
- $\lambda \rightarrow$ É o comprimento de onda;
- $d \rightarrow$ É a distância entre o transmissor e o receptor em (m) .

2.5 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Será disposto nessa seção os principais modelos de propagação de sinais para o espaço livre bem como alguns equacionamentos para as perdas.

2.5.1 Perda em espaço livre

De modo geral, se trata da perda de potência entre a potência transmitida e a potência recebida em dois pontos no espaço livre e sem a presença de obstáculos (JÚNIOR *et al.*, 2022). A sua formulação é dada pela Equação 4.

$$L_{PL} = 32,46 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (4)$$

Em que:

- $L_{PL} \rightarrow$ É a atenuação do modelo no espaço livre em (dB) ;
- $d \rightarrow$ É a distância entre as antenas transmissoras e receptoras em (Km) ;
- $f \rightarrow$ É a frequência do sistema em (MHz) .

2.5.2 Modelo Hata

Esse modelo estuda as perdas em ambientes externos com distâncias entre 1 a 20 Km e com faixa de frequências entre 150 MHz . a 1500 MHz . Tal modelo foi desenvolvido por curvas experimentais de Okumura, para isso Hata criou algumas equações para aproximar as curvas (JÚNIOR *et al.*, 2022). A Equação (5) expressa o modelo.

$$L_{Hata} = 69,55 + 26,16\log(d) - 13,83\log(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55\log(h_t)) \cdot \log(d) \quad (5)$$

Em que:

- h_t e $h_r \rightarrow$ São as alturas das antenas transmissora e receptoras em (m) ;
- $a(h_r) \rightarrow$ É o fator de correção para a antena receptora.

O fator de correção $a(h_r)$, tem características intrínsecas do local e irá variar conforme a região ou localidade das antenas.

2.5.3 Modelo Egli

O modelo de Egli, já considera mais alguns fatores na coleta de dados pra o mesmo, os terrenos possuem pequenas ondulações e com isso que as mesmas possuem uma amplitude máxima na faixa de 15 metros em uma distância de até $60Km$ com uma faixa de frequência de $40 MHz$ a $1000 MHz$ (JÚNIOR *et al.*, 2022). A equação desse modelo é definida pela Equação (6).

$$L_{Egli} = 20\log(f) + 40\log(d) - 20\log(h_t + 76,3 - 10\log(h_r)) \quad (6)$$

Em que:

- $f \rightarrow$ É a frequência em (MHz) ;
- $h_t \rightarrow$ É a altura da antena transmissora em (m) ;
- $h_r \rightarrow$ É a altura da antena receptora em (m) ;
- $d \rightarrow$ É a distância entre o transmissor e o receptor em (m) .

2.5.4 Modelo Ericsson 9999

Esse modelo se trata de uma extensão para o modelo Hata visto anteriormente, com uma adaptação entre os parâmetros que são ajustados de acordo com a localidade, a perda é ajustada para áreas urbanas (JÚNIOR *et al.*, 2022). Assim tem-se na Equação 7:

$$L_{Ericsson} = 36,2 + 30,2\log(d) - 12\log h_t + 0,1\log(h_t) \cdot \log(d) - 3,2(\log 11,75) \cdot h_r + g(f) \quad (7)$$

Assumindo que,

$$g(f) = 44,49\log(f) - 4,78(\log f)^2 \quad (8)$$

Em que:

- $f \rightarrow$ É a frequência em (MHz) ;

- $h_t \rightarrow$ É a altura da antena transmissora em (m);
- $h_r \rightarrow$ É a altura da antena receptora em (m);
- $d \rightarrow$ É a distância entre o transmissor e o receptor em (m).

2.5.5 Modelo ECC-33

Esse modelo se trata de uma adaptação para o plano livre em frequências de 3,8 GHz, para cidades localizadas na Europa (JÚNIOR *et al.*, 2022). A equação pode ser dada por (9).

$$L_{ECC} = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad (9)$$

Em que:

- $A_{fs} \rightarrow$ É a atenuação do espaço livre;
- $A_{bm} \rightarrow$ É a média básica do plano livre;
- $G_b \rightarrow$ É o fator de ganho na altura da antena transmissora;
- $G_r \rightarrow$ É o fator de ganho na altura da antena receptora.

As Equações 10 a 14 definem os termos citados anteriormente.

$$A_{fs} = 92,4 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (10)$$

$$A_{bm} = 20,41 + 9,83\log(d) + 7,89\log(f) + 9,56(\log(f))^2 \quad (11)$$

$$G_b = \log\left(\frac{h_t}{200}\right) \cdot (5,8\log(d))^2 \quad (12)$$

O fator de ganho pode ser atribuído a duas equações a primeira é para cidades médias e a segunda para cidades grandes, as equações (13) e (14) descrevem o comportamento abaixo (JÚNIOR *et al.*, 2022).

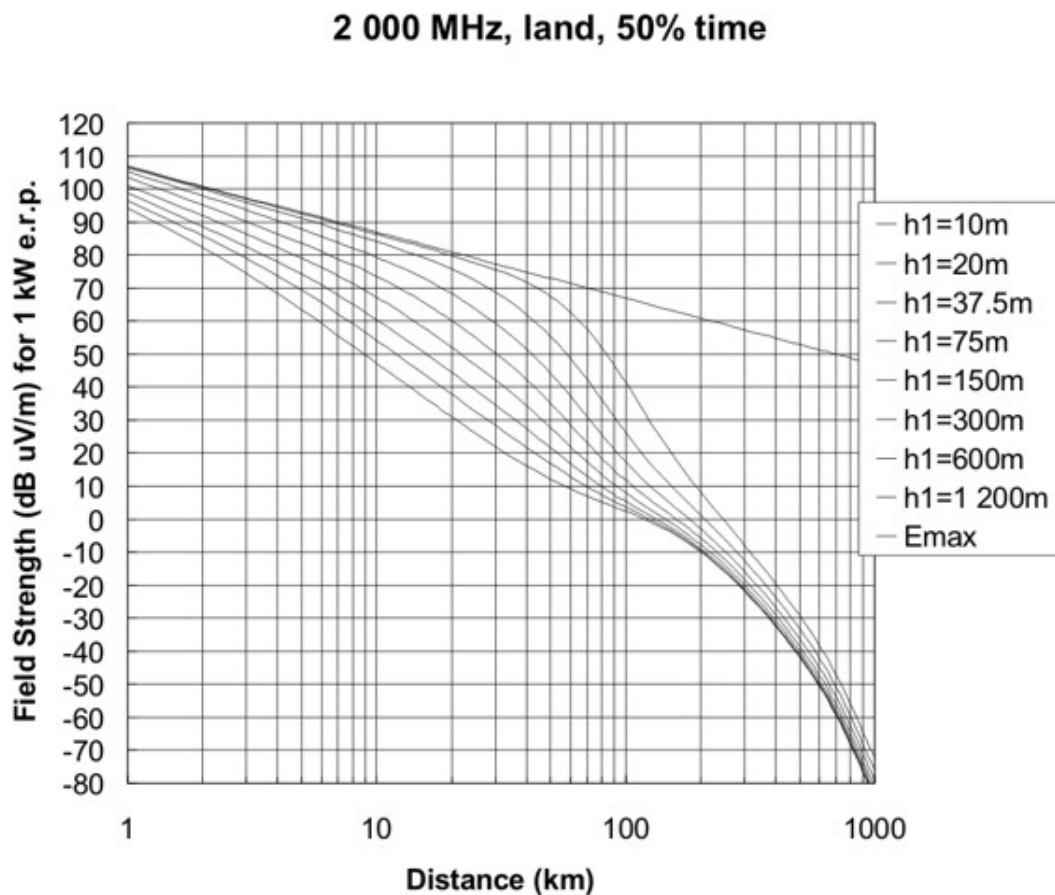
$$G_{r_{med}} = (42,57 + 13,7\log(f)) \cdot (\log(h_r - 0,585)) \quad (13)$$

$$G_{r_{grande}} = 0,759h(r) - 1,862 \quad (14)$$

2.5.6 Modelo ITU

Esse modelo foi desenvolvido pela ITU (**International Telecommunications Union**), o padrão parte das curvas obtidas por meio de medições feitas em valores nominais. Com ele é possível calcular as perdas livres uma distância de até 1000 Km, sendo a antena transmissora localizada a uma altura de até 3000m, as faixas de frequência são 100, 600 e 2000 MHz (JÚNIOR *et al.*, 2022). A Figura 8 apresenta curvas para um caminho terrestre por 50% do tempo a uma frequência de 2000 MHz a uma distância de até 1000 Km.

Figura 8 – Modelo ITU P.1546 para 2000 MHz em caminho terrestre por 50% do tempo



Fonte: ITU (2020)

2.5.7 Modelo ITU-R

Tal modelo é utilizado nos casos das frequências com faixas entre 95 MHz e 200 MHz, a distância entre as antenas receptoras e transmissoras deve próxima ou inferior a 400m. No equacionamento para o cálculo dessa perda se faz necessário a inclusão de perda no espaço

livre (MELLO, 2012). A equação (15) representa a perda para o modelo ITU-R.

$$L_{ITU-R} = 0,2f^{0,3}d^{0,6} \quad (15)$$

Em que:

- $L_{ITU-R} \rightarrow$ É a atenuação em excesso segundo o modelo da ITU-R em (dB);
- $d \rightarrow$ É a distância entre as antenas transmissora e receptora em (m);
- $f \rightarrow$ É a frequência em regime de operação do sistema em (MHz).

2.5.8 Modelo FITU-R

Esse modelo se assemelha com o modelo anterior, ITU-R, contudo o surgiu como uma melhora, pois aparece para diferenciar o conceito da predição; esse modelo irá considerar a sazonalidade que a vegetação sofre ao decorrer do ano, visto que, por exemplo, as árvores no outono perdem as folhas (MELLO, 2012).

A equação para esse sistema possui duas variantes (16) considera o sistema com as folhas nas árvores e a (17) irá considerar que não se tem as folhas nas árvores.

$$L_{FITU-R(Comfolhas)} = 0,37f^{0,18}d^{0,59} \quad (16)$$

$$L_{FITU-R(Semfolhas)} = 0,39f^{0,39}d^{0,25} \quad (17)$$

Em que:

- $L_{FITU-R} \rightarrow$ É a atenuação em excesso segundo o modelo da FITU-R em (dB);
- $d \rightarrow$ É a distância entre as antenas transmissora e receptora em (m);
- $f \rightarrow$ É a frequência em regime de operação do sistema em (MHz).

2.5.9 Modelo COST-235

Esse modelo se trata de ambientes vegetados e segue o mesmo padrão do FITU-R; existe uma equação que considera a presença de folha e outra que despreza a presença da mesma. As faixas de frequência para o sistema são de 9,6 GHz e 57,6 GHz e a distância entre o receptor

e o transmissor é considerada até no máximo 200 metros (MELLO, 2012). As equações (18) e (19) são respectivamente para o caso com folhas e sem folhas.

$$L_{COST235(Comfolhas)} = 15,6f^{-0,009}d^{0,26} \quad (18)$$

$$L_{COST235(Semfolhas)} = 26,6f^{-0,2}d^{0,5} \quad (19)$$

Em que:

- $L_{COST235} \rightarrow$ É a atenuação em excesso segundo o modelo COST-235 em (dB);
- $d \rightarrow$ É a distância entre as antenas transmissora e receptora em (m);
- $f \rightarrow$ É a frequência em regime de operação do sistema em (MHz).

Conforme os modelos de propagação apresentados, agora já é possível aplicá-los ao projeto, para esse caso serão utilizados o modelo de espaço livre e o Hata que são os comumente utilizados. Será apresentado agora os modelos de redes neurais e como essa ferramenta pode ser útil para o desenvolvimento do projeto.

2.6 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

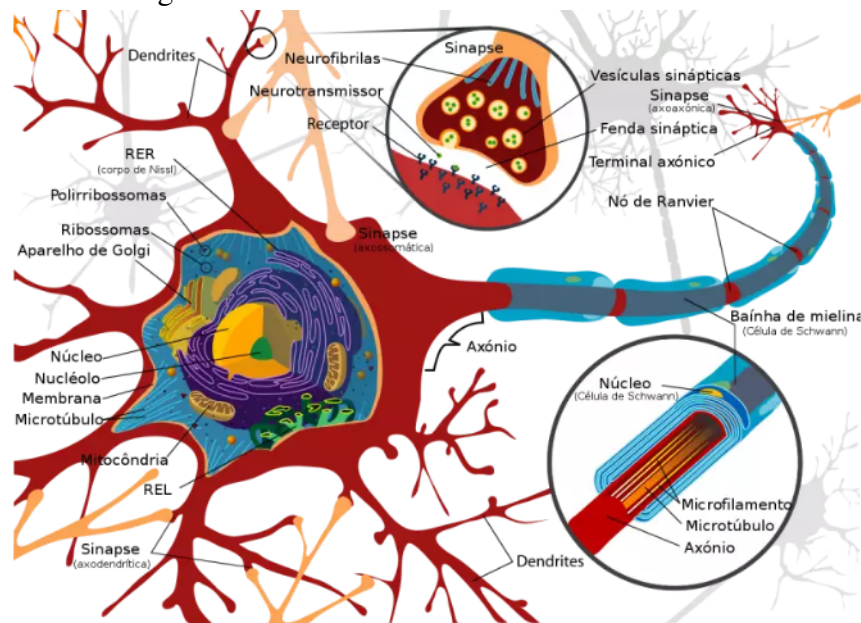
No estudo das redes neurais artificiais é possível aferir que as RNA partem no geral de modelos matemáticos e a sua estrutura é baseada em neurônios com características similares aos mesmos que os humanos possuem, sendo assim um neurônio artificial analisado possui as mesmas funções da fisiologia humana. Como características a esse neurônio, vale evidenciar suas funcionalidades de receber, transmitir e processar os sinais de informação (LAS-CASAS, 2013).

O neurônio artificial foi proposto por McCulloch e Pits, eles se propuseram a criar uma versão simplificada de um neurônio, cujo a ideia se baseava nas características de um neurônio real. O modo como os neurônios estão arrançados irá influenciar diretamente na qualidade do modelo ao qual se tem a análise, nesse caso, seja uma estrutura definida, a mesma corre o risco de ter soluções infinitas ainda que cabíveis. Nesse sentido, escolher a amostra de redes neurais é um dos principais desafios encontrados, uma vez que uma RNA pode haver inúmeras soluções possíveis. Outra característica é que quanto maiores e mais complexas as camadas interme-

diárias forem, a solução para esses problemas tem sua complexidade devidamente aumentadas (LAS-CASAS, 2013).

A Figura 9, ilustra um neurônio real, no modelo biológico o centro da maioria dos processos de metabolismos está atrelada a célula nervosa, com isso projetam-se as extensões filamentosas entre os dentritos e o axônio. Os dentritos possuem um volume maior que o corpo celular formando algo semelhante a uma árvore dentrital (KOVÁCS, 2002).

Figura 9 – Estrutura de um neurônio humano real



Fonte: Tatiana Pimenta (2018)

A seguir pode-se destacar algumas das características de um neurônio real que se assimilam ao neurônio artificial, conforme é demonstrado na Figura 9.

- Dentritos - Elementos receptores, conduzem os estímulos para as células de soma;
- Axônio - Elemento de transmissão, transmite os impulsos nervosos;
- Sinapse - Converte um sinal elétrico em um sinal químico e em seguida volta para o sinal elétrico;
- Corpo celular - Se trata do processador dos sinais de entrada, caso o valor atinja um limiar, o neurônio irá disparar o impulso elétrico formando a sinapse.

Com o constante trabalho dos pesquisadores foi possível compreender que o neurônio é análogo a um sistema computacional, contudo atua como um mensageiro de sinais ao sistema nervoso e que possui muitas entradas associadas a uma mesma saída (KOVÁCS, 2002).

Uma rede neural artificial trará consigo características semelhantes a estrutura de um neurônio real localizado no cérebro humano, essa estrutura tem características similares em

alguns aspectos biológicos, como aprendizado, a associação de informações, generalização e abstração. Uma RNA se trata de um processador contendo unidades de processamento simples, onde armazenam conhecimentos experimentais que estão disponíveis para serem utilizados (SASSI, 2006).

Como vantagens as redes neurais se destacam por não necessitarem de especialistas para criar sua base de conhecimentos, outro fator é que não se existem regras, e sua aquisição é feita basicamente pelos dados que foram coletados. Entretanto, o sistema também possui algumas excessões como utilização de dados em suma numéricos, o treinamento da rede também pode requerer muitos parâmetros e os mesmos são ajustados com base tentativas e erros (SASSI, 2006).

A RNA irá trabalhar com estímulos que são alimentados em suas entradas alimentando os neurônios que estão interconectados entre si ou com outras camadas por meio da sinapse (CARVALHO, 2020).

Com a analogia apresentada, tem-se que uma RNA, é constituída de um estímulo na entrada, no qual este irá alimentar os neurônios subsequentes por meio das camadas através das sinapses, assim transportando os sinais de um meio a outro. No meio do caminho o processo de informações aprendidas é constituído de algumas etapas e podem variar conforme o modelo do neurônio (CARVALHO, 2020).

2.6.1 Modelos de RNA

A seguir, será visto alguns dos principais modelos de RNA, para o respectivo projeto, conforme mencionado, os sinais tendem a ser propagados por meio das sinapses. Para compreensão dos modelos e arquiteturas de diferentes RNAs, é necessário entender algumas das principais partes de uma RNA, no qual tem-se a arquitetura do neurônio utilizado, as funções de ativação, a alimentação da rede e o treinamento da mesma.

2.6.1.1 Neurônio Booleano de McCulloch

Se trata do modelo mais simples de neurônio artificial para a época, nesse caso o comportamento era descrito por uma lógica binária, tendo a sua saída por um pulso ou não pulso com entradas arbitrárias, a saída do neurônio era calculada, por somas ponderadas das entradas com seus respectivos ganhos. Caso fossem positivos os ganhos eram excitatórios e se fossem negativos eram inibitórios. A proposta de McCulloch era que a inteligência artificial fosse

equivalente ao cálculo de predicados que podiam ser implementados com funções de caráter booleano (KOVÁCS, 2002).

2.6.1.2 Neurônio artificial

As informações dos sinais são propagadas entre os elementos através de sua sinapse, esse sinal que pode ser denominado de x por exemplo é multiplicado por um peso W_{kj} , onde k é o neurônio e j se trata do terminal de entrada em cada peso. Com a multiplicação dos pesos, os sinais são somados. No somatório dos sinais que pode ser chamado de Bias b_k , esse valor é ajustado durante o treinamento da rede. Por fim o valor é intregado a uma função de ativação $\varphi(\cdot)$ que se trata também de uma função restritiva (CARVALHO, 2020).

A equação 20 mostra a multiplicação dos pesos pelos valores de entradas expressas em um somatório.

$$u_k = \sum_{j=1}^m W_{kj} X_j \quad (20)$$

Na equação 21 se tem a função que se trata da soma das bias com os valores obtidos na equação 20.

$$v_k = u_k + b_k \quad (21)$$

Por fim a saída irá utilizar dos valores da equação 21 e aplicar em uma função de ativação conforme 22.

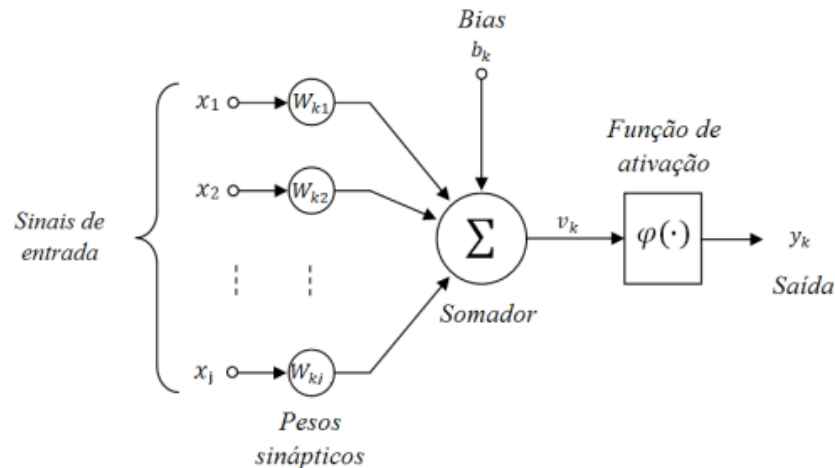
$$y_k = \varphi(u_k + b_k) \quad (22)$$

A Figura 10 representa o modelo esquemático de uma RNA desde os sinais de entrada até a sua saída.

2.6.2 Arquitetura da rede neural

Conforme citado, a arquitetura da rede neural parte de alguns formatos e possui algumas disposições, entretanto a sua usuabilidade e necessidade de aplicação é que irá ser a responsável pela estrutura escolhida. De modo generalista a rede sempre terá alguns elementos na arquitetura, sendo eles as camadas intermediárias, a quantidade de neurônios, a função de transferência e o algoritmo que será responsável pelo aprendizado da rede (MATSUNAGA, 2012).

Figura 10 – Neurônio Artificial

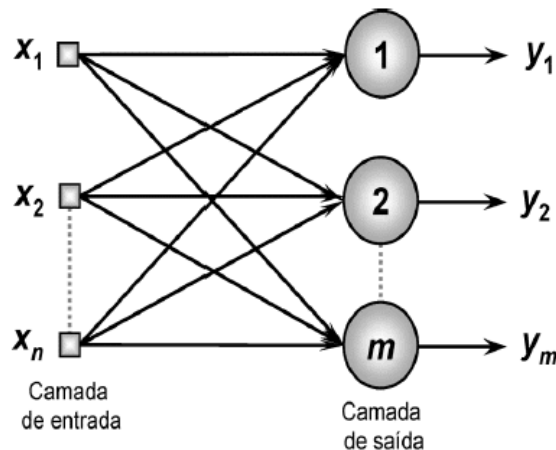


Fonte: Haykin (2001)

2.6.2.1 Redes alimentadas com camada única

Uma rede neural de camada única tem como característica principal as entradas estarem diretamente ligadas a saída sem que haja algum intermédio das camadas intermediárias conforme a Figura 11 (MATSUNAGA, 2012).

Figura 11 – Modelo de rede neural com camada única



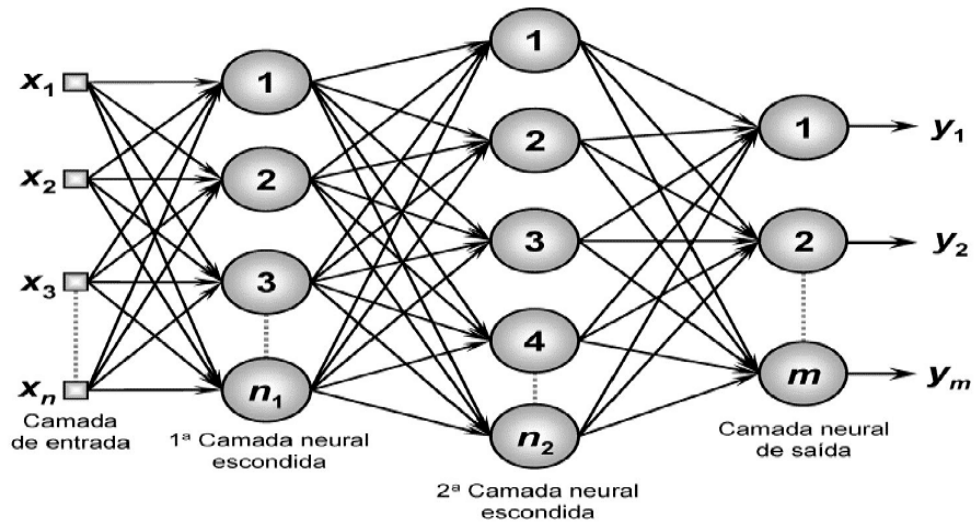
Fonte: Embarcados (2016)

2.6.2.2 Redes alimentadas com camadas múltiplas

Diferentemente do que foi proposto na RNA de camada única, esse tipo de rede terá camadas intermediárias que podem ser denominadas de oculta. A funcionalidade das camadas ocultas é realizar de maneira funcional a intervenção entre a entrada e a saída em questão, quanto maior forem o número das ocultas será possível obter estatísticas com maior complexidade

conforme a Figura 12 (MATSUNAGA, 2012).

Figura 12 – Modelo de rede neural com camadas múltiplas

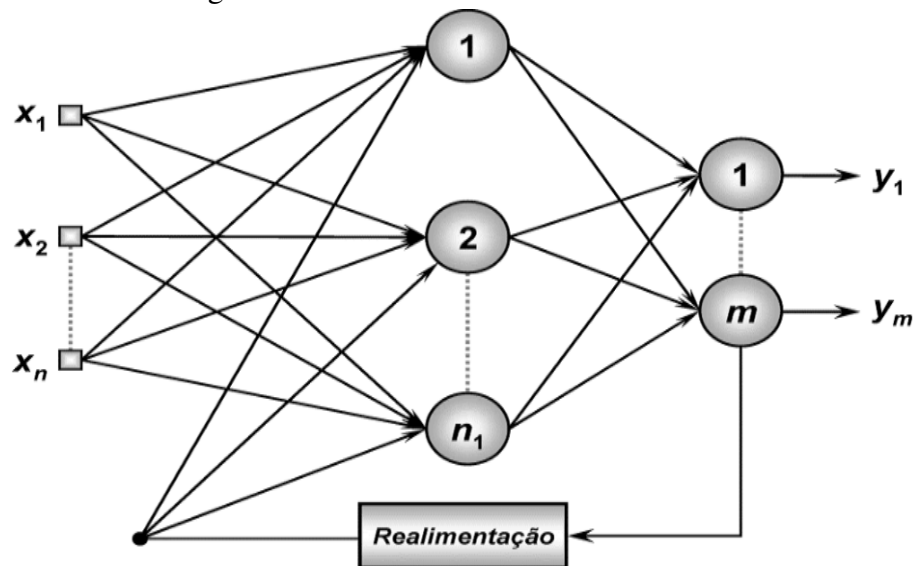


Fonte: Embarcados (2016)

2.6.2.3 Redes Recorrentes

Rede recorrente tem como característica sinais de saída e entrada ou em camadas ocultas uma auto-realimentação que visa a melhoria e o desempenho da rede, assim o sinal é processado por várias vezes em cada neurônio realimentado conforme a Figura 13 (MATSUNAGA, 2012).

Figura 13 – Modelo de rede neural recorrente



Fonte: Embarcados (2016)

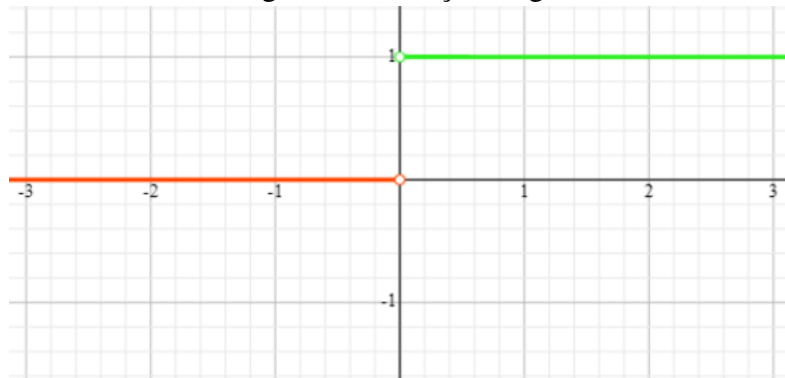
2.6.3 Funções de Ativação

As funções de ativação dentro de uma rede neural podem ser adversas, entretanto as comumente utilizadas vão ser a função degrau, a função linear, a sigmoide, ou a tangente hiperbólica (CARVALHO, 2020).

- **Função Degrau:** Visa operar de forma eficiente evitando a descontinuidade da função. Pode ser expressa pela equação (23) e pela figura 14.

$$y = \varphi(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (23)$$

Figura 14 – Função Degrau

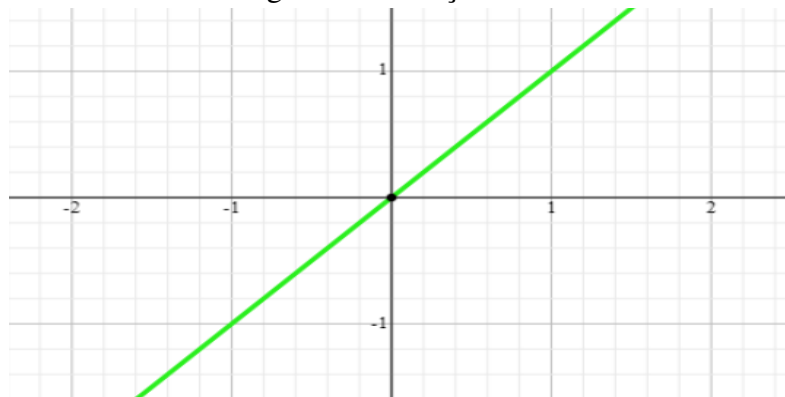


Fonte: Autor (2023)

- **Função Linear:** Comumente utilizada para medição da predição do sinal, sua equação pode ser dada simplesmente pela equação (24) e pela figura 15.

$$y = \varphi(x) = x \quad (24)$$

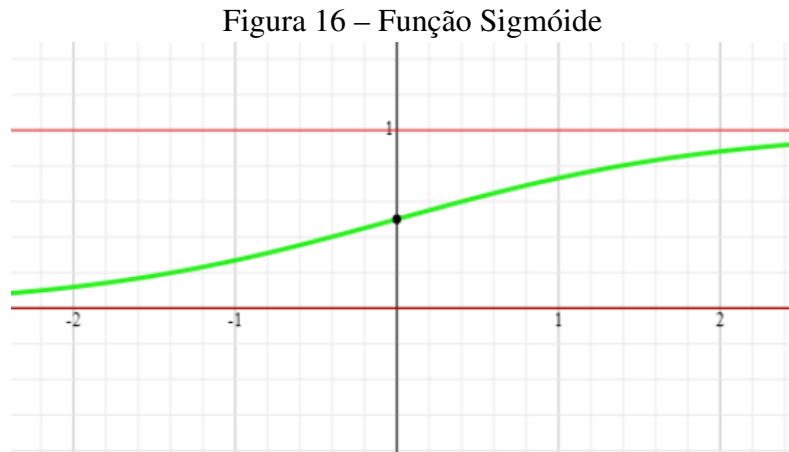
Figura 15 – Função Linear



Fonte: Autor (2023)

- **Função Sigmóide:** É uma função logarítmica conforme é apresentada na equação (25) e pela Figura 16.

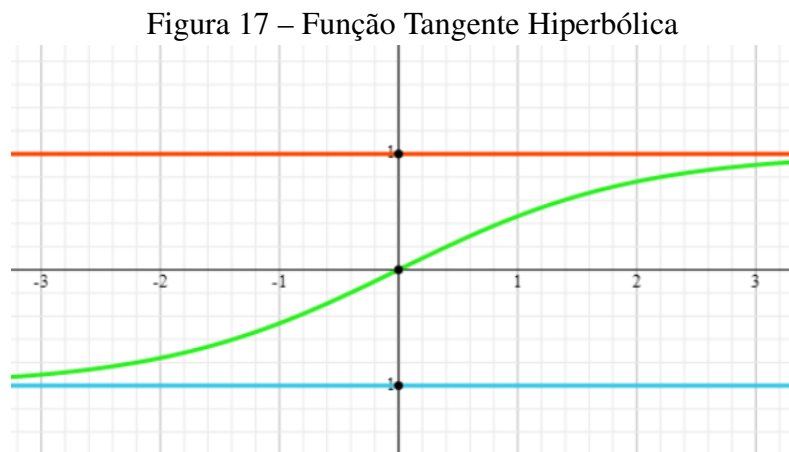
$$y = \varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \quad (25)$$



Fonte: Autor (2023)

- **Função Tangente Hiperbólica:** Se assemelha a função da sigmóide entretanto a mesma irá apresentar valores no intervalo entre $[-1, 1]$, é utilizada para neurônios na camada escondida. A mesma é representada na equação (26) e pela Figura 17.

$$y = \varphi(x) = \frac{1 - e^{-\beta x}}{1 + e^{-\beta x}} \quad (26)$$



Fonte: Autor (2023)

2.6.4 Aprendizado da RNA

O processo de aprendizagem de uma rede neural exige um treinamento da mesma, na qual os conjuntos de dados da entrada e saída são treinados no intuito de obter-se a menor

quantidade de erros possíveis; no geral, são usados algoritmos que irão realizar o procedimento. Existem alguns modelos de aprendizado, dentre os quais se destacam o modelo supervisionado, não supervisionado e o retropropagação (CARVALHO, 2020).

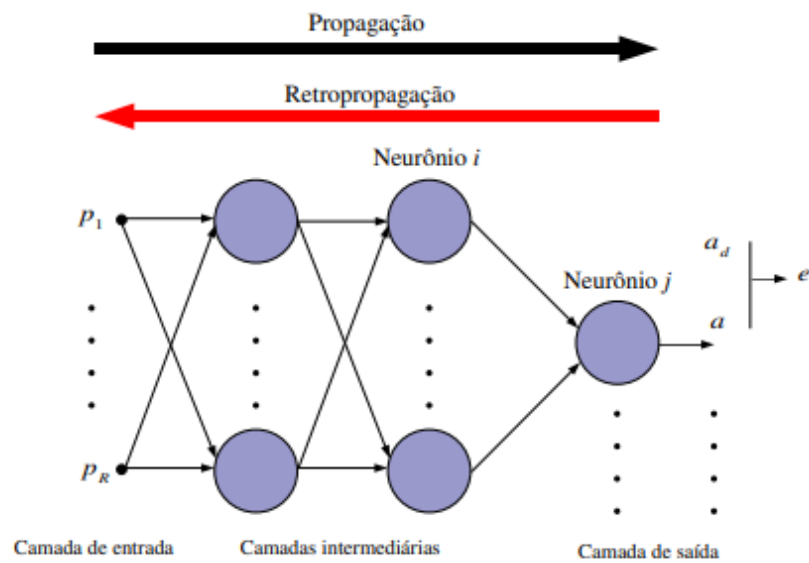
- **Supervisionado:** As instruções para a rede são aproximadas a uma solução aceitável, desse modo os pesos entre os neurônios são ajustado, conforme se deseja extrair a menor diferença possível entre as saídas.
- **Não supervisionado:** Nesse modelo as saídas geralmente são desconhecidas, o algoritmo para esse caso se baseia em conceitos de agrupamentos e vizinhança. A rede vai sendo ajustada conforme os dados estatísticos que vão sendo fornecidos, de modo que são criadas características independentes.
- **Retropropagação ou *Backpropagation*:** Consiste basicamente em um treinamento ao qual a rede é propagada até a saída e retropropagada até o começo, ou seja um padrão é aplicado a entrada e ao chegar a saída o valor é comparado com o valor desejado, caso não seja atendido aos critérios desejados o mesmo retrocede as camadas anteriores.

2.6.4.1 *Modelo Backpropagation*

Esse modelo de aprendizado é o que será aplicado ao projeto, o algoritmo para esse tipo de processo busca encontrar diferenças mínimas entre as entradas e saídas por um metodo iterativo tendo um baixo erro percentual, a retropropagação irá ajustar os pesos entre as camadas e com isso os pesos sinápticos são atualizados a cada iteração de modo que a rede irá convergir ao valor de saída desejada (MATSUNAGA, 2012).

Os elementos que estão nas camadas ocultas, irão receber uma pequena parte do sinal que é proporcional a sua contribuição e relativa aos elementos de sua saída original, com isto os pesos tendem a serem atualizados conforme o critério de erro escolhido. Os dados inseridos no projeto devem ser reservados parte para validação, teste e treinamento, onde no treinamento é destinado a maior parte dos dados de coleta e os demais tem como funcionalidade validar a rede (MATSUNAGA, 2012).

Na Figura 18 tem-se um modelo de *Backpropagation*, onde tem-se as entrada P_I variando até uma entrada P_R até que nesse sentido se tenha a sua saída denominada de a ligada a um neurônio de saída j . A saída desejada é dada por a_d , então os valores são comparados, e retropropados pelos neurônios anteriores a saída, na Figura 18 é ilustrado o neurônio j e o neurônio i por exemplo (MATSUNAGA, 2012).

Figura 18 – Modelo de *Backpropagation*

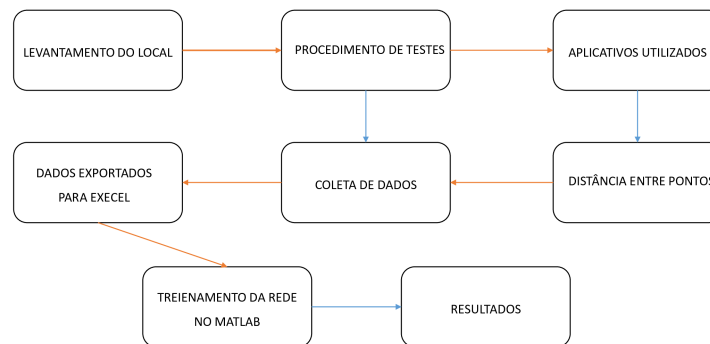
Fonte: Victoria Y. Matsunaga (2012)

Conforme apresentado, esse Capítulo apresentou algumas características dos modelos de propagação e algumas das principais características das redes neurais artificiais. O modelo de rede neural utilizado para o desenvolvimento da pesquisa e que será visto na prática é o modelo de *backpropagation*, conforme ilustrado na Figura 18.

3 METODOLOGIA

O referido Capítulo tem como por objetivo apresentar os procedimentos realizados no levantamento de dados do local em questão, desse modo, será abordado um pouco sobre o local de coleta de dados, aspectos da localidade, como foi realizada a coleta, quais aplicativos utilizados e como a pesquisa foi desenvolvida. A Figura 19 apresenta um fluxograma esquemático de como procedeu-se a pesquisa e extração de dados até a obtenção dos resultados.

Figura 19 – Fluxograma de procedimentos do projeto

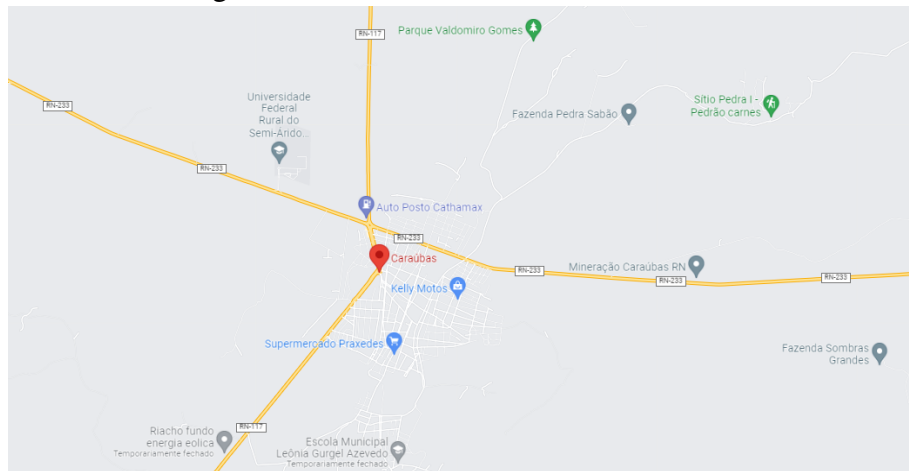


Fonte: Autor (2023)

3.1 LOCALIDADE ANALISADA

O local de medição para as referidas análises foi a cidade de Caraúbas localizada no interior do estado do Rio Grande do Norte, segundo dados estatísticos do IBGE entre 2021 e 2022, a mesma conta com uma extensão territorial de $1.095.803 \text{ Km}^2$, sua latitude possui coordenadas, $5^\circ 47' 45''$ Sul, e longitude com coordenadas, $37^\circ 33' 11''$ Oeste, a população estimada do município é de 20.588 habitantes. A cidade possui um dos quatro campi da UFRSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido) que atende a demanda com alunos da própria cidade e de cidades circunvizinhas. A mesma conta com duas rodovias estaduais que se cruzam dentro da cidade sendo essas a RN-233 e a RN-117, a Figura 20 mostra a localização da cidade no Google Maps (IBGE, 2023).

Figura 20 – Caraúbas - Rio Grande do Norte



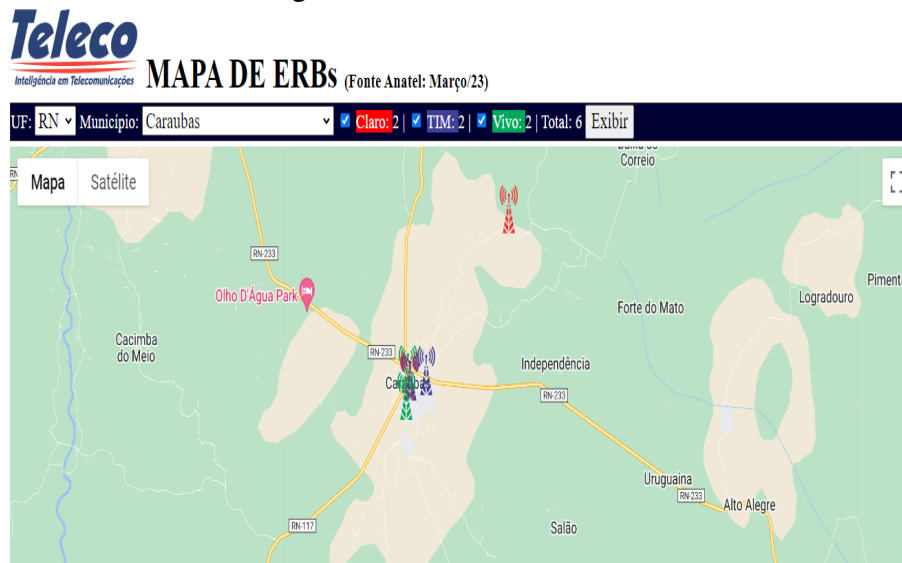
Fonte: Google Maps (2023)

3.1.1 ERB - Estação Rádio Base

Segundo dados da ANATEL, o Brasil tem cobertura 4G em 99,9% dos municípios com cobertura em 5.541 cidades. No Estado do Rio Grande do Norte a operadora TIM é a que possui um maior destaque tendo cobertura nos 167 municípios do estado, em segundo lugar tem-se a VIVO abrangendo 134 municípios e em terceiro lugar tem-se a CLARO com abrangência em 63 municípios (ANATEL, 2023).

No município de caraúbas de acordo com o site Teleco e conforme dados da ANATEL, existem 6 estações rádio base, sendo duas da operadora TIM, duas da operadora VIVO e duas da operadora CLARO conforme é apresentada na Figura 21 (TELECO, 2023).

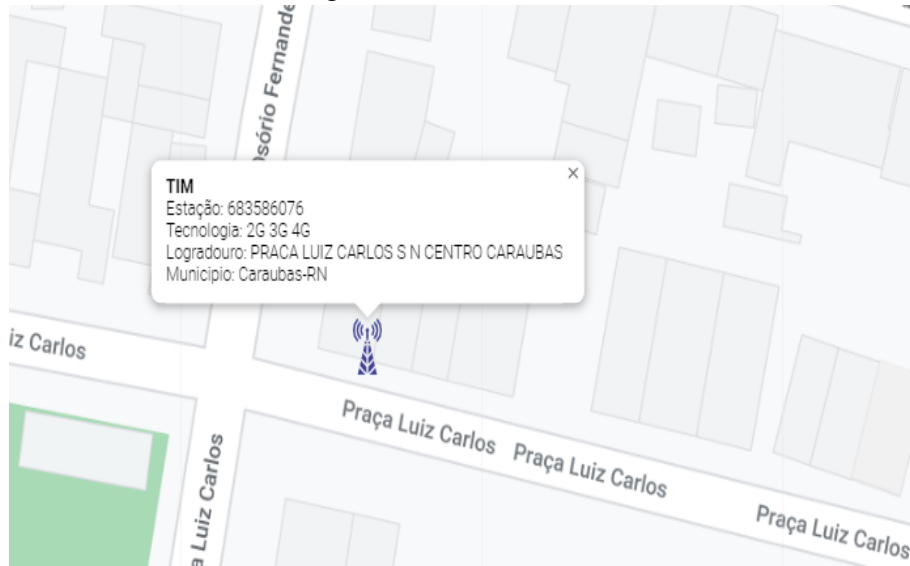
Figura 21 – ERBs em caraúbas



Fonte: Teleco (2023)

Desse modo foi selecionada a operadora TIM por ser a que tem uma maior abrangência e a que possui um maior número de usuários. O sinal de análise foi o 4G na faixa de operação de 850 MHz, visto que o 5G ainda está em processo de desenvolvimento para o referido ano e a localidade estudada. Dentre as duas ERB da operadora dispostas na cidade a escolhida foi a que está localizada na praça Luiz Carlos, número 36, centro de caraúbas, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 – ERB escolhida



Fonte: Teleco (2023)

Na Figura 23, se tem a visualização da referida torre em uma imagem real retirada na ERB referência do projeto.

Figura 23 – ERB de referência



Fonte: Autor (2023)

3.2 COLETA DE DADOS

Para aferição de dados, utilizou-se um celular *smartphone* com sistema operacional android da empresa *xiaomi* modelo *Redmi note 10 PRO*. Foi utilizado um *chip* da operadora TIM e utilizado um pacote de dados móveis da operadora. A Figura 24 apresenta as especificações do dispositivo utilizado.

Figura 24 – Especificações do *Redmi note 10 PRO*

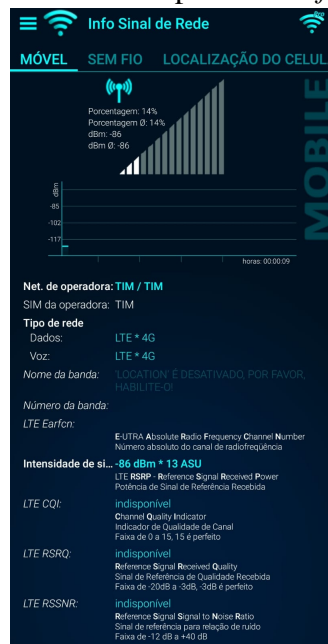
Fabricante:	Xiaomi
Número de telefone:	
Marca:	Redmi
Dispositivo/Modelo:	sweet_global / M2101K6G
Android:	Android REL / 11 - SDK 30
Carregador de boot:	unknown
Criar ID:	RKQ1.200826.002 test-keys
Rádio/Serial:	3.c5-00123-1210_2212_8ac2f09f5b. 3.c5-00123-1210_2212_8ac2f09f5b / unknown
Impressão digital:	Redmi/sweet_global/ sweet:11/RKQ1.200826.002/ V12.5.11.0.RKFMIXM:user/release-keys
Vs. Software Disp.:	00
CPU:	arm64-v8a
Número da CPU:	8
Freq. da CPU:	(máx.) 1804 MHz (mín.) 300 MHz (atual) 1804 MHz
BogoMips da CPU:	38.4
Largura da tela:	1080 pontos
Altura da tela:	2400 pontos

Fonte: Autor (2023)

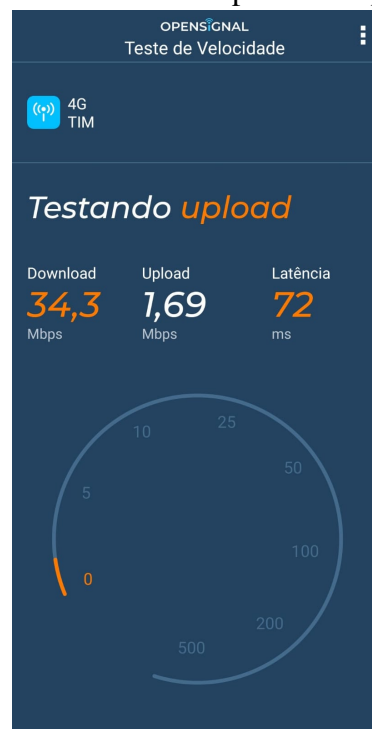
Para realização da coleta dos dados utilizou-se 3 aplicativos disponíveis na *Google play store* o primeiro aplicativo foi o *Info sinal de rede* sua interface está na Figura 25. Esse aplicativo foi utilizado para medir a potência recebida pelo sinal móvel, é importante ressaltar que diante dos custos e dentro das opções que haviam disponíveis esse foi o aplicativo que mostrou uma melhor performance, e atendia as necessidades para o projeto.

O segundo aplicativo foi o *Open Signal* é apresentado na Figura 25, o mesmo foi aplicado na medição dos demais parâmetros de testes sendo esses a latência, a velocidade de *Download* e *Upload*. Esse aplicativo foi tomado como base de um outro trabalho similar a esse, cujo foi analisado os mesmos parâmetros mencionados (BARROS, 2018).

O terceiro aplicativo foi o *Adidas Running*, seu uso teve como objetivo ajudar nas medições, auxiliando a percorrer cidade e realizar o mapeamento de levantamento dos dados da mesma, o meio de locomoção foi uma motocicleta.

Figura 25 – Interface do aplicativo *Info sinal de rede*

Fonte: Autor (2023)

Figura 26 – Interface do aplicativo *Open Signal*

Fonte: Autor (2023)

3.2.1 Dados extraídos na pesquisa

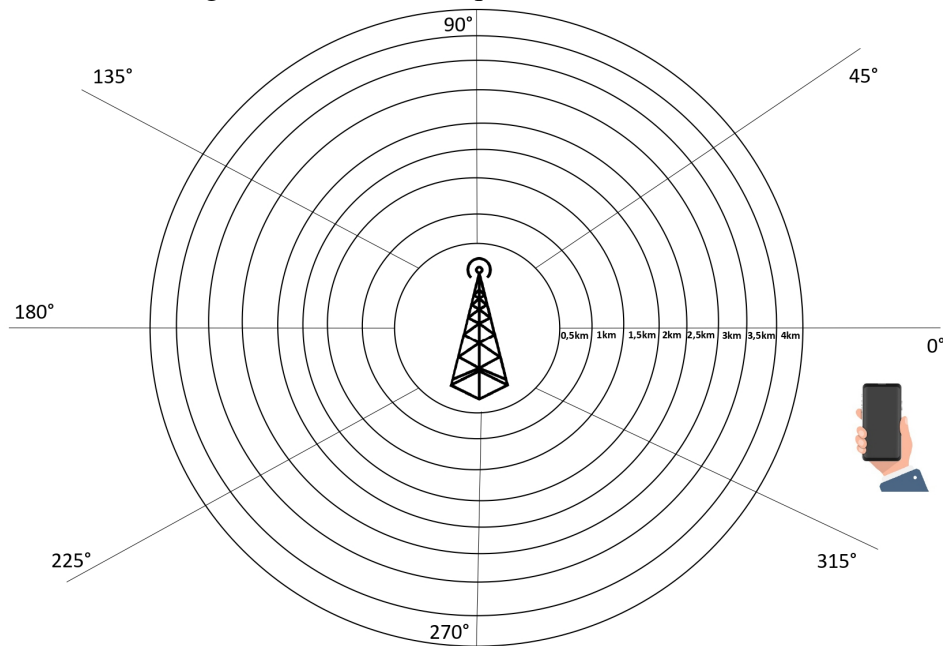
Os dados coletados na pesquisa eram 4 em cada teste realizado em pontos diferentes do município, sendo esses a potência de sinal recebida em *dB*, a latência da rede em *ms*, velocidade de *upload* e *download* em *Mbps*. O aplicativo *Info sinal de rede* fornecia a potência

recebida e *Open signal* fornecia os dados restantes. O aplicativo *Adidas running* foi utilizado para calcular as distâncias entre os pontos. A coleta se deu em 3 dias, distintos da semana sendo um deles sábado, e em diferentes horários entre 8:00 horas as 18:00 horas.

3.2.2 Procedimento dos testes

Os testes eram realizados 5 vezes para cada ponto, assim, como se necessitava de 4 dados para medição, em um ponto de coleta eram extraídos 20 dados a cada 500 metros, o raio de cobertura analisado para a antena foi de 4 quilômetros. Foram consideradas angulações de 45° no entorno da antena conforme o raio de sensoriamento, assim em cada ângulo era obtido 160 dados e como se tinha 8 variações da angulação variando de 0° a 315° , no total foram obtidos 1280 amostras conforme os testes que foram realizados, cada um dos parâmetros analisados possui 320 dados coletados. Vale evidenciar que o ângulo de 45° da ERB, foi uma ideia pré-estabelecida nos trâmites iniciais do projeto.

Figura 27 – Modelo esquemático de coleta de dados



Fonte: Autor (2023)

A Figura 27, ilustra como se procedeu o modelo dos dados coletados. A Tabela 2 apresenta um modelo de como esses dados eram coletados em um ponto localizado. Vale evidenciar que ao todo foram preenchidas 64 tabelas como essa, visto que se tinha medições a cada 500 metros e com uma variação de ângulo a cada 45° aproximadamente. O número de dados é extenso, mas se faz necessário para o treinamento da rede neural.

Tabela 2 – Modelo de testes coletados

Parâmetro	1° Teste	2° Teste	3° Teste	4° Teste	5° Teste
Potência (<i>dBm</i>)	-	-	-	-	-
Latência (<i>ms</i>)	-	-	-	-	-
Download(<i>Mbps</i>)	-	-	-	-	-
Upload (<i>Mbps</i>)	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2023)

3.3 MAPEAMENTO DA CIDADE

Para mapear a cidade, a mesma foi dividida em quatro quadrantes similar ao plano cartesiano. O primeiro quadrante era responsável pelos ângulos 0°, 45° e 90°; O segundo quadrante abrangia entre 90°, 135° e 180°; O terceiro quadrante era dado em 180°, 225° e 270°; Por fim o quarto quadrante correspondia a 270°, 315° e 0°.

Tabela 3 – Divisão de bairros por quadrantes

Quadrantes	Bairros
1°(0°, 45°, 90°)	Centro, Sebastião Maltes, Leandro bezerra, Conj. Maria Bandeira.
2°(90°, 135°, 180°)	Centro, Antonio linhares, Conj. Nestor Fernandes, UFERSA.
3°(180°, 225°, 270°)	Centro, Santa Agostinha, Altos são severino e liberdade, Conj. Nestor Fernandes
4°(270°, 315°, 0°)	Centro, Lenadro Bezera e Alto da liberdade

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 3, apresenta a divisão que separa os bairros pelos respectivos quadrantes. Desse modo as distâncias até 1 *km* pertenciam ao centro da cidade onde a ERB estava localizada e conforme as distâncias cresciam as mesmas adentravam aos bairros, como a divisão foi feita por quadrantes, é normal que um bairro esteja entre dois quadrantes, visto suas interseções.

3.3.1 Marco de referência

O marco inicial de referência seria a rua da capela são bento que está localizada em frente a praça Aproriano Martins de sá. Entretanto, caso fosse considerado esse local como o marco de referência 0°, a associação dos ângulos conforme o projeção da cidade e do modelo implementado na figura 27, os dados estariam defasados em 135°, para esse ponto foi realizado a primeira coleta mesmo que este não tenha sido considerado marco zero, esse ponto foi associado ao marco de 500 metros a 225° da torre.

O ponto de marco inicial para coleta dos dados foi a rua major cesário que fica próxima a praça de eventos da cidade, conforme é apresentado na Figura 28, esse ponto foi o

marco de 0° a 500 metros da torre e datado como o ponto de referência.

Figura 28 – Marco de referência inicial



Fonte: Autor (2023)

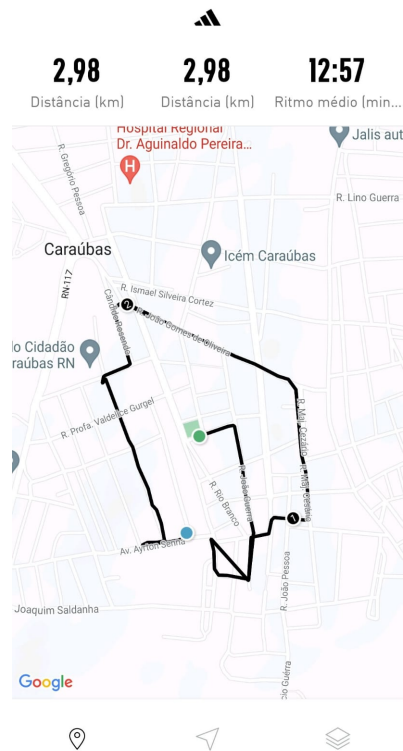
3.3.2 Distância entre pontos

Para realizar a medição dos dados datou-se um marco de referência inicial na cidade, aproximadamente até 1,5 Km da torre, a coleta foi realizada de maneira radial, considerando o raio respectivo, o próximo ângulo era calculado considerando o comprimento da circunferência ($C = 2\pi r$), onde r era o raio de sensoriamento entre a torre e o ponto de coleta. O valor do comprimento era dividido por 8, visto que essa é a quantidade de ângulos.

Para 500 metros, por exemplo, o comprimento do raio de sensoriamento é de 3.141 metros, realizando a divisão por 8 resultava em aproximadamente 393 metros entre os ângulos. A Figura 29, mostra o percurso percorrido para obtenção dos dados referentes ao raios inicial de 500 metros da ERB.

Até se percorrer 1,5 km a coleta de dados o percurso radial era viável, entretanto notou-se que a 2 Km da ERB, esse percurso se tornava dificultoso em virtude dos elementos naturais e estruturais da própria cidade como áreas de vegetação alta, residências e prédios, final de ruas, cruzamento na rodovia, terrenos baldios, propriedades privadas, mudança entre bairros, trânsito, entre outros fatores.

Figura 29 – Raio de sensoriamento de 500 metros no aplicativo *Adidas Running*



Fonte: Autor (2023)

A partir de 2 *Km* os dados foram coletados de maneira a seguir o seu ângulo a cada 500 metros e não mais de forma radial, assim era possível medir por quadrantes, o que tornou a coleta um pouco mais ágil visto que não era necessário a troca de tantos bairros.

4 RESULTADOS

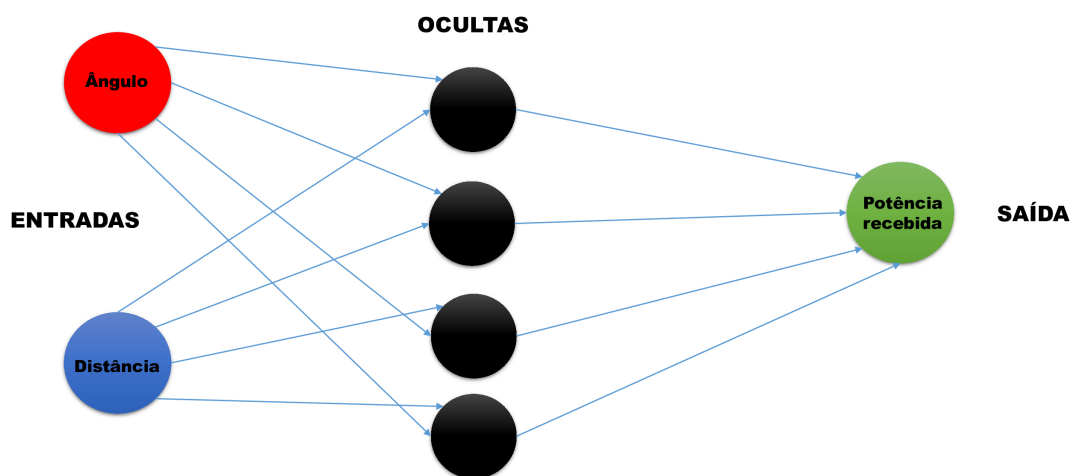
No referido capítulo será abordado os resultados da coleta dos dados, bem como os procedimentos após a montagem da rede neural, por fim, serão apresentados gráficos e discussões sobre os modelos de propagação já vistos.

4.1 MONTAGEM DA REDE NEURAL

Após a fase de coleta de dados, deu-se início ao tratamento desses respectivos dados afim de montar a RNA, para isso os mesmos foram exportados em uma planilha no *excel* e com isso alimentados ao algoritmo de aprendizado conforme as iterações, utilizando-se do método de retropropagação. Vale evidenciar que dos dados utilizados 90% serão os dados de treinamento da rede, 5% serão destinados para validação e os 5% restantes para testes.

A princípio a ideia inicial era montar a rede com duas entradas e quatro saídas alimentadas diretamente, entretanto percebeu-se que por se tratarem de saídas cujo os parâmetros eram diferentes, a rede não entendia os dados que foram alimentados, com isso a mesma mostrava valores de erro muito altos e divergentes. Então a segunda ideia foi realizar uma rede neural para cada parâmetro de saída. Desse modo aproveitava-se as mesmas entradas que eram o Ângulo e a distância, e para cada saída se tinha uma respectiva rede.

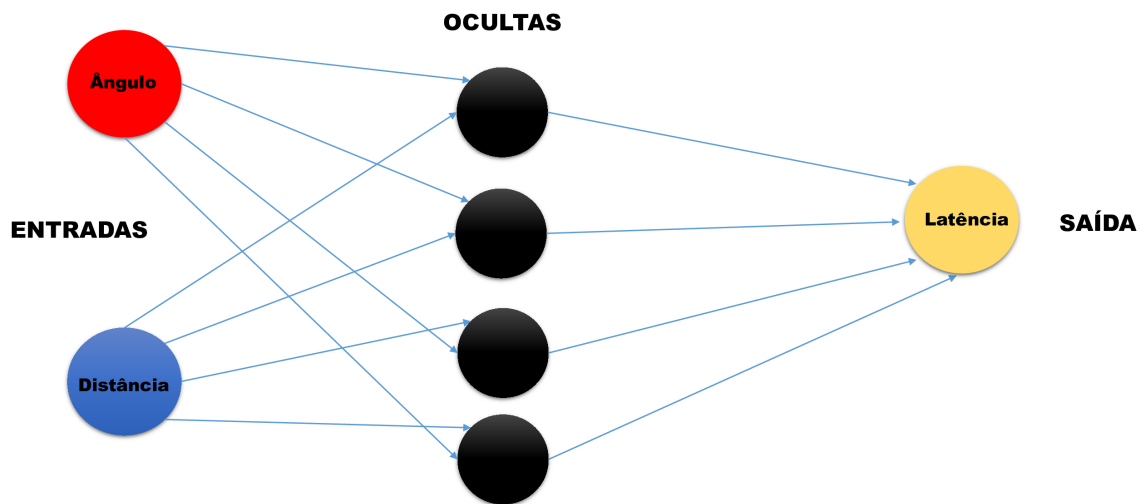
Figura 30 – Modelo esquemático da rede neural para potência recebida



Fonte: Autor (2023)

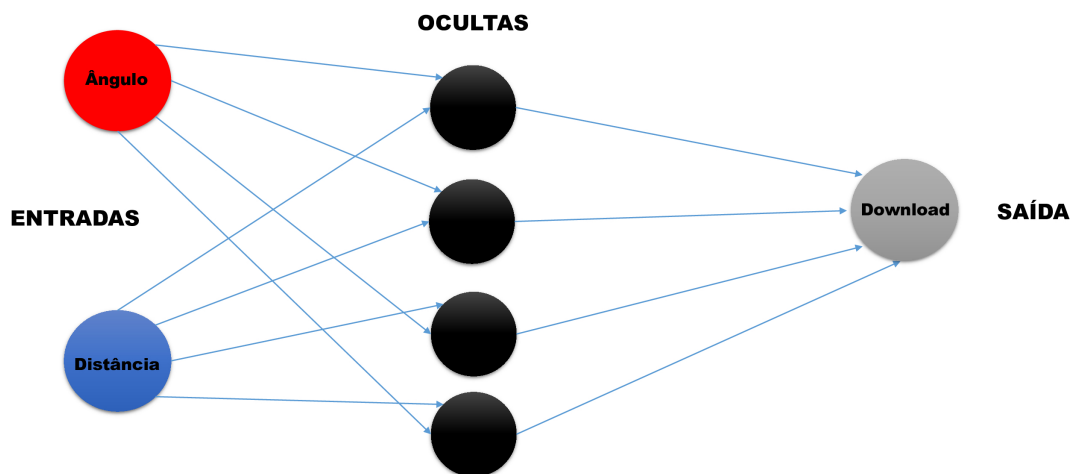
A Figura 30, apresentou um modelo esquemático para a rede desenvolvida, a saída é a potência recebida, na Figura 31 tem-se o esquemático para a latência, a rede neural com a saída *download* está representada na Figura 32 e na Figura 33 temos a rede para a saída *upload*.

Figura 31 – Modelo esquemático da rede neural para Latência



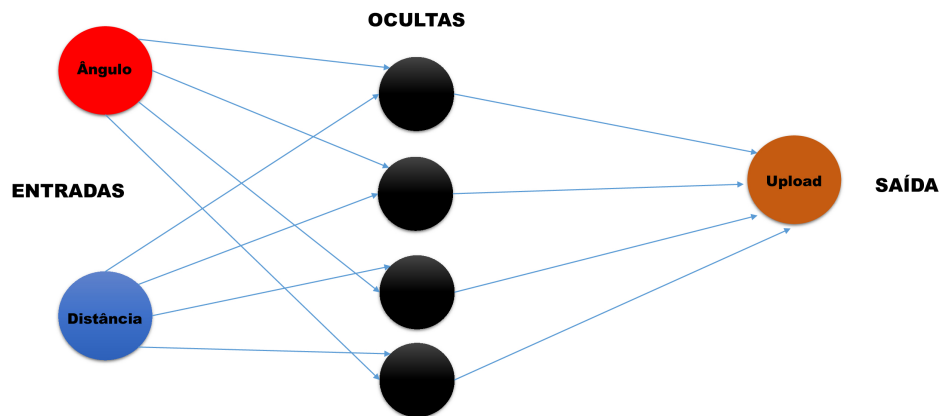
Fonte: Autor (2023)

Figura 32 – Modelo esquemático da rede neural para download



Fonte: Autor (2023)

Figura 33 – Modelo esquemático da rede neural para Upload



Fonte: Autor (2023)

Todas as saídas são independentes aproveitando as mesmas entradas, para se chegar a um erro aceitável, o ideal é que se manipule a quantidade de neurônios e as épocas que são referentes a quantidade de interações da rede. Outro fator é gerar uma alimentação de dados aleatório para que a rede não se torne viciada tendenciosa a alguns valores (JUNIOR, 2005).

4.2 RESULTADO DA COLETA

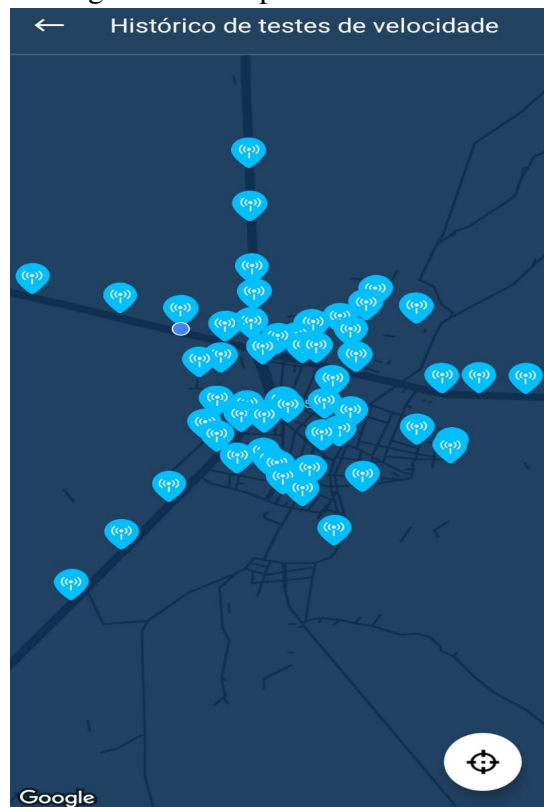
A figura 34 projeta o mapeamento realizado, e a figura 35 extraída do aplicativo *Open signal* apresenta os pontos da coleta em um paronarama geral.

Figura 34 – Projeção do Mapeamento



Fonte: Autor (2023)

Figura 35 – Mapeamento Realizado



Fonte: Autor (2023)

Percorrido o raio de 500 metros a relação parcial do aplicativo se encontrava conforme a Figura 36 variando entre -80 a -102 *dBm*. Com os dados coletados, foi organizado uma planilha no *excel*, e inseridos ao algoritmo *Levenberg-Marquardt Backpropagation* no *Matlab*.

Figura 36 – Resultado de coleta da potência para 500 metros



Fonte: Autor (2023)

Após os teste de velocidade realizados e medições de potência conforme citados nas seções anteriores, foram coletados 1280 amostras sendo estas, 320 para potência recebida, 320 para latência, 320 para velocidade de *download* e 320 para velocidade de *upload*.

4.3 RESULTADOS DA REDE NEURAL

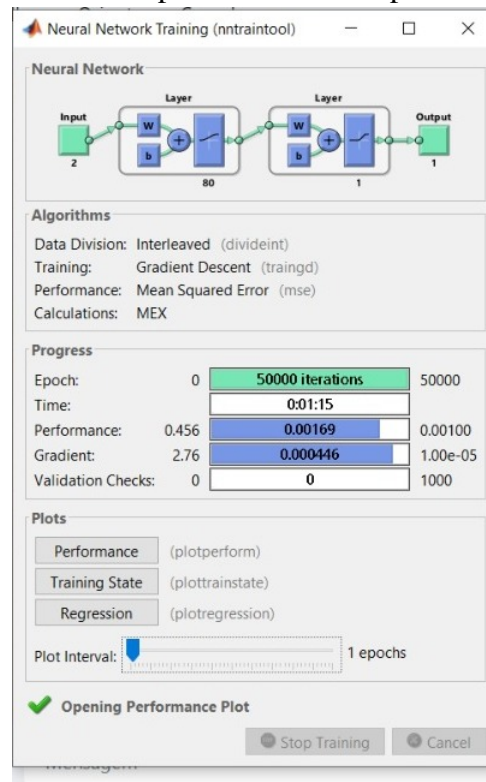
Com todos os dados coletados, deu-se inicio a montagem do algoritmo, os mesmos estão dispostos nos anexos deste trabalho. O primeiro algoritmo objetiva-se em treinar a rede e está disposto no Anexo A, o procedimento foi sincronizar a planilha do *excel* realizando a chamada das entradas associadas pelas linhas da entrada e uma das saídas por vez. Em seguida o algoritmo embaralha os valores para que a rede não fique viciada e realiza uma normalização dos mesmos. Com isso, é hora de criar a rede neural, a função *net* é a responsável por isso, as entradas normalizadas são inseridas a função, tem-se o controle no número de neurônios e associa-se as funções de transferência a essa etapa, para esse caso os neurônios de entrada a função de ativação era a logaritmica sigmóide e a função de ativação para a saída era a linear saturada. Após essa etapa era hora de definir os critérios de parada da rede que foi definida como 0,001 para toda ela devendo ser menor que 1%; esse valor não foi comparado com outros trabalhos, apenas definido como um critério de escolha. A quantidade de vezes que a mesma iria iterar é ajustada pelo número de épocas que pode ser ajustado conforme a variação desejada. Por fim, definiu-se a quantidade de dados que seriam utilizados para treino, teste e validação. Com isso, a rede já pode ser treinada e utilizada. Os critérios de escolha para quantidade de neurônios foi por meio de tentativa e erros ajustados manualmente até que a *toolbox* do *nnTool(RNA)* por meio de seu erro quadrático médio retornasse valores com erro abaixo do critério pré-estabelecido.

No segundo algoritmo localizado no Anexo B, temos a geração dos gráficos após a rede treinada, os valores após o treinamento são inseridos e com isso os gráficos são gerados conforme os quadrantes e a respectiva saída, para geração dos gráficos por meio do algoritmo basta apenas selecionar os ângulos do quadrante em questão e mudá-los conforme a variação angular desejada. O terceiro algoritmo gera a comparação com os modelos de propagação e está disposto no Anexo C. Todos os dados coletados na fase de pesquisa estão dispostos no Anexo D.

4.3.1 Resultados do treinamento da potência recebida

Para a potência recebida foram ajustadas as duas entradas da rede que são os ângulos e as distâncias. No processo iterativo após tentativas e erros e ajustes manuais, foram estabelecidas 50.000 épocas. Na entrada se tinham 80 neurônios com a função de ativação sigmóide e para a saída apenas um neurônio com a função de ativação linear saturada que são respectivamente associadas as strings *logsig* e *satlin* cujas funções são de ativação da camada escondida e da camada de saída, respectivamente. A função *trainlm* é usada para treinar a rede, o tempo de treinamento da rede foi de 1 minuto e 15 segundos, conforme é possível visualizar na Figura 37.

Figura 37 – Treinamento da potência recebida pela rede neural no Matlab



Fonte: Autor (2023)

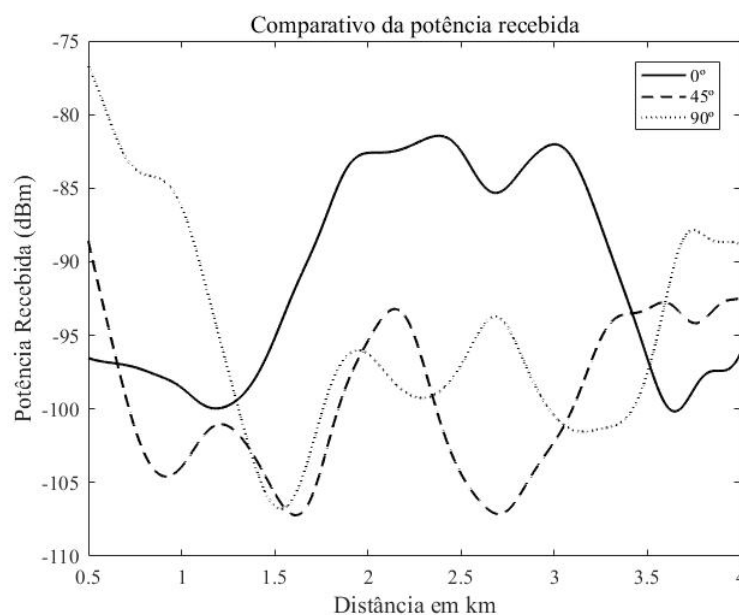
Com o treinamento concluído, os valores foram importados para o segundo algoritmo e assim foi possível visualizar os gráficos para cada quadrante dispostos nas figuras subsequentes. O resultado do primeiro quadrante está apresentado na figura 38. Para sua interpretação, é necessário definir alguns valores em *dBm* de acordo com a referência geral que é frequentemente usada na indústria de telecomunicações, serão utilizados critérios que definem a potência de sinal recebida, com classificações de *Excelente* a *Muito fraco*. Sendo baseadas em uma dissertação acadêmica para planeamento móvel de redes 3G no ano de 2017 (RAMOS, 2017).

- Excelente: -70 dBm ou melhor
- Bom: -80 dBm a -70 dBm
- Médio: -90 dBm a -80 dBm
- Fraco: -100 dBm a -90 dBm
- Muito fraco: -100 dBm ou pior

Com esses valores definidos, a Figura 38 mostra o resultado do primeiro quadrante apresentando valores de potência para 0°, 45° e 90°. Para 0° o melhor valor de potência está em 2,5 km, chegando a um valor próximo de -77 dBm que se classifica como bom, entretanto ao final do raio de sensoriamento, a potência é finalizada com um valor próximo a -98 dBm, sendo considerado fraco. Para 45° próximo a 1,5 km temos um ponto muito fraco e na maioria do teste a mesma tende a um valor médio entre -90 a -100 dBm sendo ainda considerado um sinal fraco. Em 90°, a potência decai bastante a medida que se aproxima de 1 km iniciando com valor entre -76 dBm e em 1,5 km a valor chega a -107 dBm.

O primeiro quadrante apresenta discrepâncias entre os ângulos que podem ser explicadas pelas variações de altitude da cidade, esse quadrante abrange certa parte do centro e um pouco do bairro Leandro Bezerra, no qual elevações e desníveis de altitude são bem consideráveis.

Figura 38 – Potência recebida no primeiro quadrante



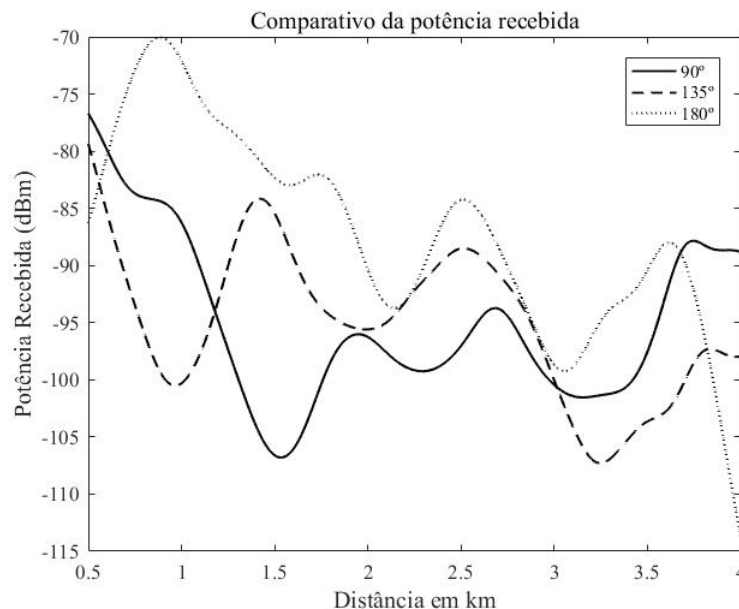
Fonte: Autor (2023)

Na Figura 39, tem-se os valores do segundo quadrante para a potência recebida, no ângulo de 135° é possível observar um forte sinal inicialmente com -75 dBm, entretanto ao

chegar em 1 Km o sinal enfraquece e chega a ter -85 dBm sendo considerado médio, conforme o aumento da distância, em 1,5 Km é possível visualizar um sinal muito fraco, algo em torno de -105 dBm mas o mesmo volta a uma posição média e ao chegar no 4 km, o valor é médio fica em torno de -90 dBm . Para 180° o valor inicial até 1 km é crescente e muito bom, chegando a ficar próximo de -70 dBm , após isso o valor tende a decrescer até que se chegue em 4 km, ficando próximo a -110 dBm , sendo considerado um sinal ruim.

Para o segundo quadrante, é possível observar que os ângulos das curvas estão próximas, dentre os critérios estabelecidos tem-se sinais classificados como excelentes em 180° , nesse quadrante o sinal não possui grande interferência de prédios, com um bom aproveitamento para propagação em espaço livre.

Figura 39 – Potência recebida no segundo quadrante

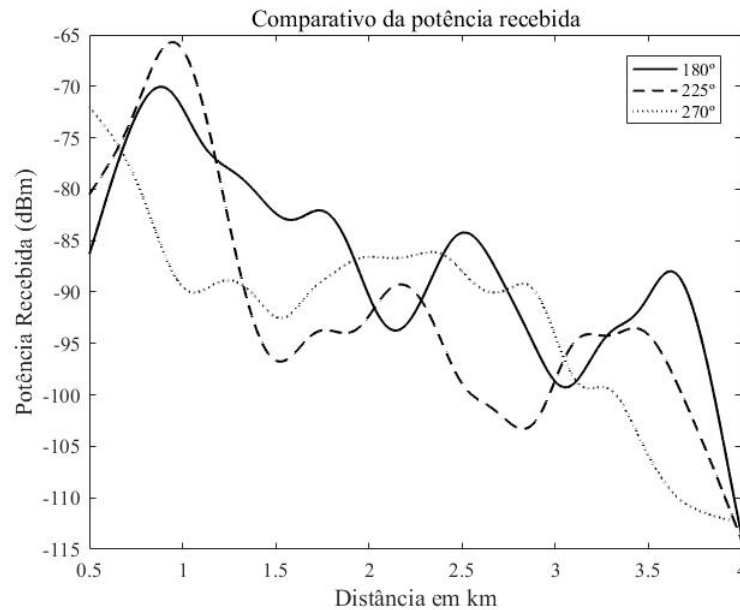


Fonte: Autor (2023)

Para o terceiro quadrante temos a Figura 40, em 225° a potência chega em um valor próximo de -65 dBm . No primeiro quilômetro, e após isso sofre uma grande perda, chegando a um valor fraco próximo de -100 dBm em 1,5 km, posteriormente o sinal volta a ter um valor médio em -90 dBm e finaliza muito fraco, abaixo de -110 dBm .

Em 270° a potência recebida inicia de forma decrescente com um sinal bom, mas chega em um valor fraco antes de alcançar a 1 km; entretanto, o sinal tem uma melhora entre 2 a 2,5 km mas após 3 km, finaliza com uma queda constante ficando abaixo de -110 dBm . Esse quadrante se caracteriza como o melhor da pesquisa, como características da localidade, a maioria dos setores associados são residências térreo, sem grandes edifícios e com características

Figura 40 – Potência recebida no terceiro quadrante

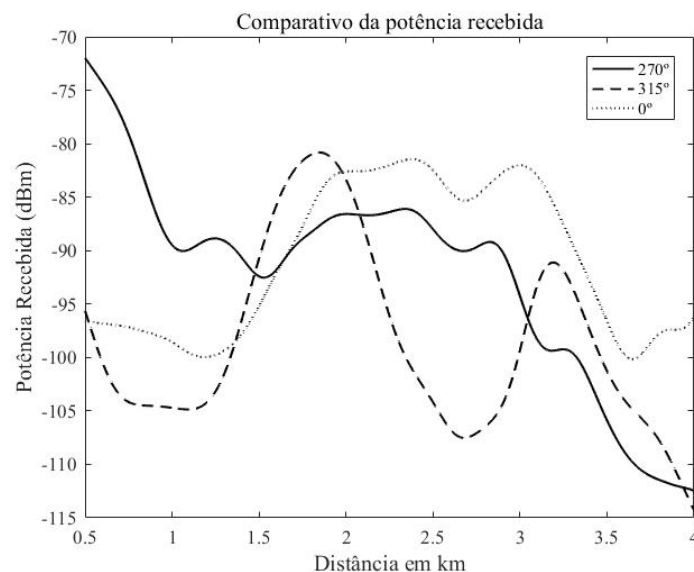


Fonte: Autor (2023)

de relevo sem grandes mudanças bruscas de altitude.

No quarto quadrante a potência recebida é ilustrada na Figura 41, em 315° a potência começa fraca mas chega a ter um sinal classificado como muito ruim, mas entre 1,5 a 2 km, o sinal tem uma crescente melhora chegando a -80 dBm, mas volta novamente a decair, finalizando com um valor em -115 dBm. Esse quadrante é o que possui os maiores desníveis de altitude, pois engloba boa parte do centro que possui grandes edifícios e abrange o bairro alto da liberdade que possui um grande desnível.

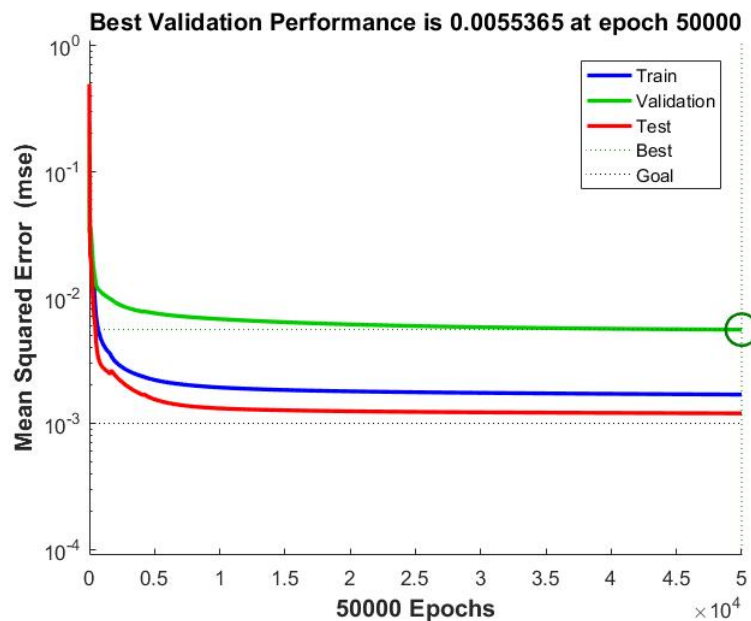
Figura 41 – Potência recebida no quarto quadrante



Fonte: Autor (2023)

Na Figura 42 é possível visualizar o erro médio quadrático gerado, após o treinamento da mesma, é possível visualizar as linhas de erro para o os valores de teste, treinamento e validação. Para a potência recebida esse erro ficou 0,0055365 e está dentro do critério de erro aceitável.

Figura 42 – Erro médio quadrático da Potência recebida



Fonte: Autor (2023)

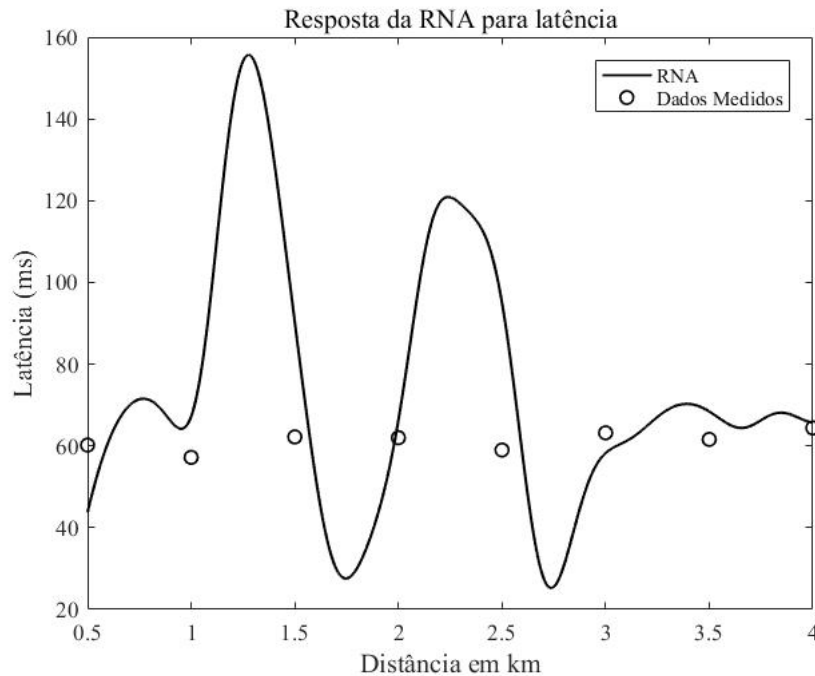
4.3.2 Resultados do treinamento para Latência

No contexto das telecomunicações, existem vários parâmetros de latência que são frequentemente usados dependendo do contexto e do tipo de rede, a latência de *download* e *upload* se trata da relação entre ida e volta. A latência de *download* se refere ao tempo que leva para receber um pacote de dados da rede como a mesma é afetada pela taxa de transferência de dados (velocidade de *download*). Da mesma forma, a latência de *upload* se refere ao tempo que leva para enviar um pacote de dados para a rede e é afetada pela latência de ida e volta, e também pela taxa de transferência de dados (velocidade de *upload*) (VALADAO *et al.*, 2012).

A latência corresponde ao atraso em que o sinal demora para realizar a comunicação entre o transmissor e o receptor de dados. Para esse projeto, a mesma foi medida em milissegundos. No processo iterativo, foram estabelecidas 6 épocas e uma entrada com 60 neurônios para a função de ativação sigmóide e para a saída, apenas um neurônio com a função de ativação linear saturada, utilizou-se do mesmo critério de erro para o treinamento da potência recebida. Na

Figura 43 é apresentado a curva obtida para a resposta dos valores de latência. Para as análises de latência, *download* e *upload* será apresentado apenas sua curva RNA para todo o sistema.

Figura 43 – RNA para Latência

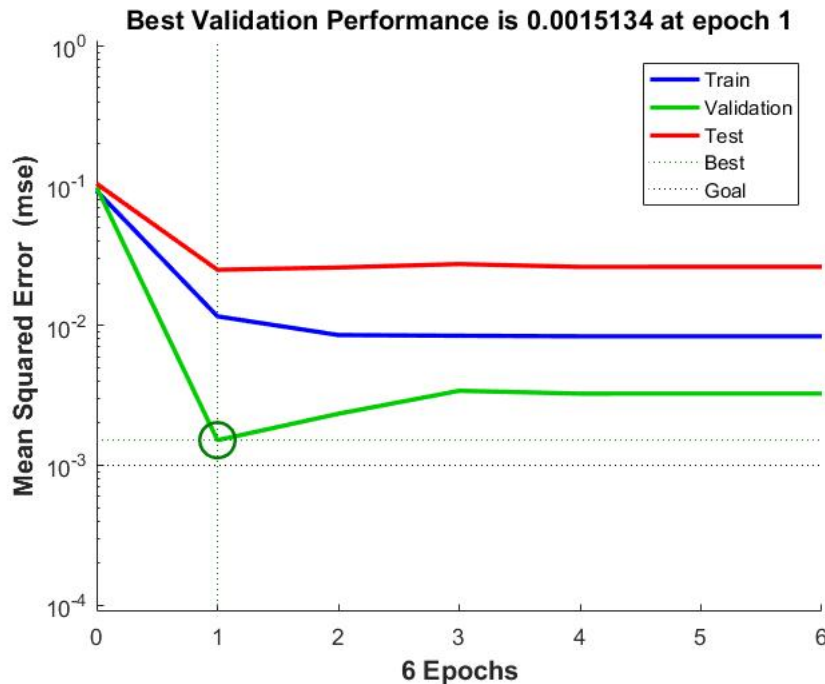


Fonte: Autor (2023)

Após o treinamento da rede é possível observar que nesse gráfico os atrasos são bem maiores no intervalo entre 1 km a 1,5 km, chegando a um atraso superior a 150 ms, em contrapartida entre 1,5 km a 2 km, e 2,5 km a 3 km, os valores de atraso são bem baixos, por volta de 30 ms. Por fim em 4 km do raio de sensoriamento o valor se estabiliza em 60 ms. O que pode-se extrair desse gráfico é que a velocidade e o atraso para a rede não necessariamente será maior conforme a distância aumenta, quem mora ou utiliza o serviço de dados a uma raio de 1 km da torre possui velocidades melhores entretanto, para a entrada de algum bairro após o centro, os valores tendem a um maior atraso em virtude do arranjo urbanístico concentrar o maior numero de pessoas, prédios e elementos infraestruturais justamente no centro.

Para os resultados de erro da latência temos o gráfico do erro médio quadrático, que no *Matlab* é apresentado como performance, disposto na Figura 44. A performance de validação foi de 0,0015134, e está dentro do valor considerado.

Figura 44 – Erro médio quadrático para a latência



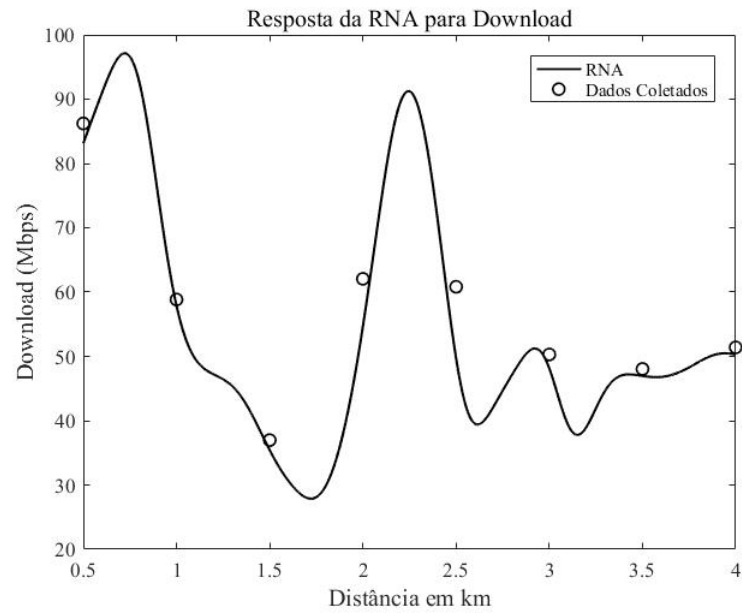
Fonte: Autor (2023)

4.3.3 Resultados do treinamento para *Download*

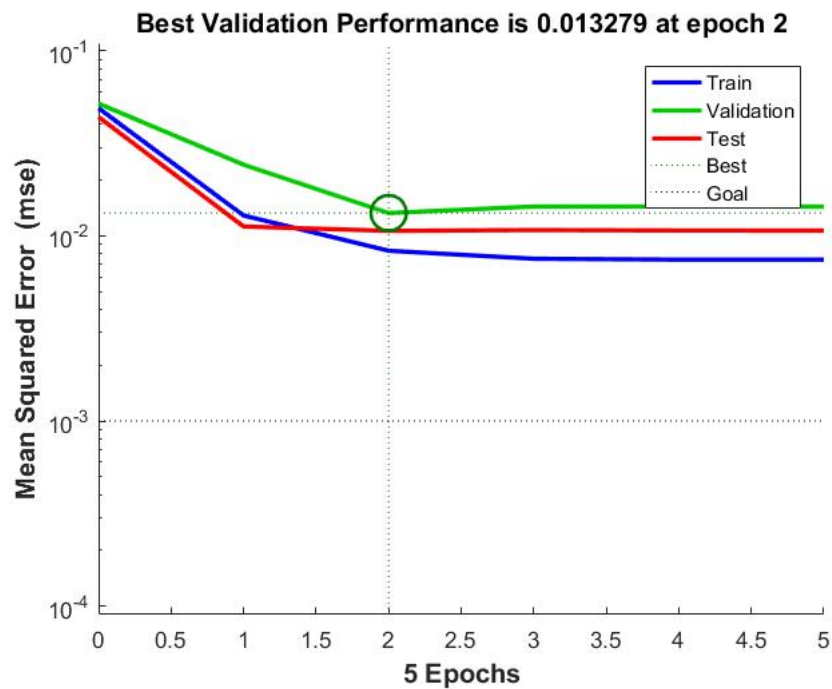
A velocidade de *download* foi medida em Mbps, que se trata de megabits por segundo e de modo geral relaciona-se com a quantidade de dados que podem ser transferidos do servidor para o dispositivo em um determinado período de tempo. No processo iterativo para a rede neural, foram estabelecidas 5 épocas e uma entrada com 60 neurônios para a função de ativação sigmóide e para a saída apenas um neurônio com a função de ativação linear saturada; entretanto, a mesma conseguiu realizar o treinamento antes de finalizar todas as iterações, desse modo o processo iterativo parou na 2 época.

Na Figura 45, pode-se observar que curva para a velocidade de *download* tem bons valores iniciais próximos a 100 Mbps, entrando após 1 km da ERB esse valor decai bastante ficando próximo a 60 Mbps, após 1,5 km esse valor cai pela metade, ficando bem próximo de 30 Mbps. Entre 2 km a 2,5 km o raio de sensoriamento possui novamente uma alta, entretanto para 3 km o valor tende a se estabilizar por volta de 50 Mbps, até atingir o valor final de 4km. É um valor razoável, visto que 100 Mbps para velocidade de *download* é um valor consideravelmente bom para utilização em tarefas diárias que a grande maioria dos usuários necessitam.

O erro médio quadrático para o *download* é apresentado na Figura 46, observa-se que nessa performance os dados de treinamento, validação e teste chegaram a se aproximarem

Figura 45 – RNA para *Download*

Fonte: Autor (2023)

Figura 46 – Erro médio quadrático para *Download*

Fonte: Autor (2023)

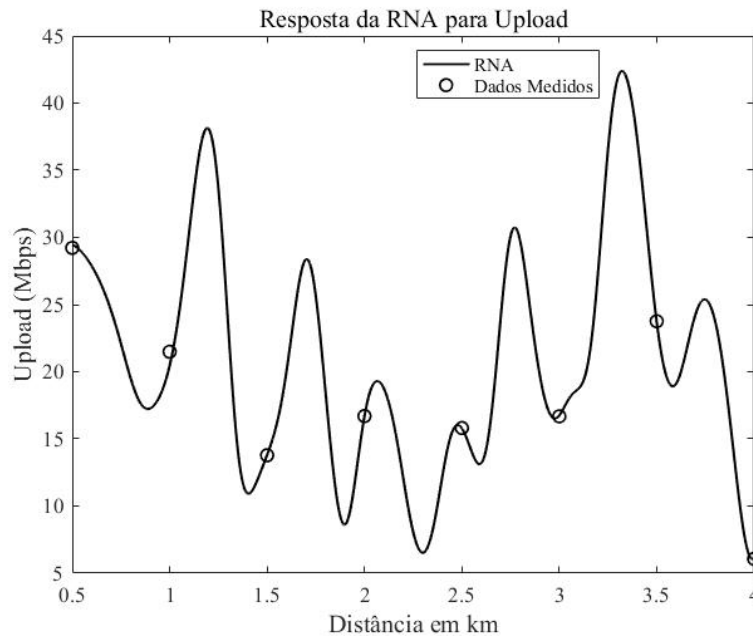
bastante. A performance de validação foi de 0,013279 dentro do considerado.

4.3.4 Resultados do treinamento para *Upload*

A velocidade de *upload* foi medida também em Mbps. No processo iterativo para a rede neural, foram estabelecidas 2 épocas e uma entrada com 150 neurônios para a função de

ativação sigmóide e para a saída apenas um neurônio com a função de ativação linear saturada. A rede conseguiu realizar o treinamento ao finalizar todas as iterações. Na figura 47 é possível visualizar a curva para a RNA acerca dos valores de *upload*.

Figura 47 – RNA para *Upload*



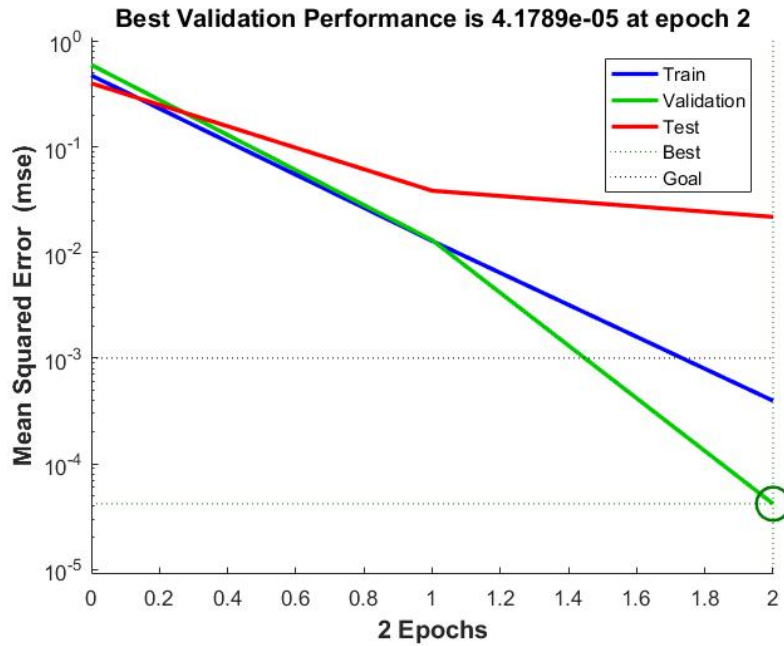
Fonte: Autor (2023)

Conforme é possível visualizar na Figura 47, entre 1 *km* a 1,5 *km* é possível observar valores muito bons próximos a 40 Mbps, o que já é considerado uma boa velocidade para envio de dados, é possível notar que o valor decai bastante até 2,5 *km* da ERB chegando a quase 5 Mbps, entretanto, o valor após 3 *km* ultrapassa os 40 Mbps, mas aos 4 *km* o valor já decai bastante novamente, chegando a 5 Mbps. A velocidade de *upload* é bastante variável, entretanto, é possível observar que a maioria do comportamento da curva é que a mesma tende a decrescer conforme aumenta-se a distância entre o ponto de referência e a ERB.

Por fim, para os resultados de velocidade de *upload*, tem-se o erro médio quadrático apresentado na Figura 48, é possível observar que os dados de treinamento chegaram próximos aos de validação se aproximando bastante. A performance de validação foi de 0,00041789, dentro do valor considerado.

Os valores para latência, *Download* e *Upload* possuem muitas variações ao longo do percurso total, essas variações podem também estar atreladas ao nível de confiabilidade do aplicativo e mudanças da própria geração de sinal que a operadora fornece como em horários de pico, além do desnível entre bairros e elementos urbanísticos.

Figura 48 – Erro médio quadrático para upload



Fonte: Autor (2023)

4.4 COMPARATIVO COM MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Para o devido comparativo, foi implementados os modelos de propagação no espaço livre e o modelo Hata. Para traçar as curvas, levou-se em consideração a frequência de 850 MHz, a altura do celular a 1,5 metro do solo, e a altura da ERB em 20 metros. O ganho da antena foi considerado em 17 dBi e a potência do transmissor em 20 dbm.

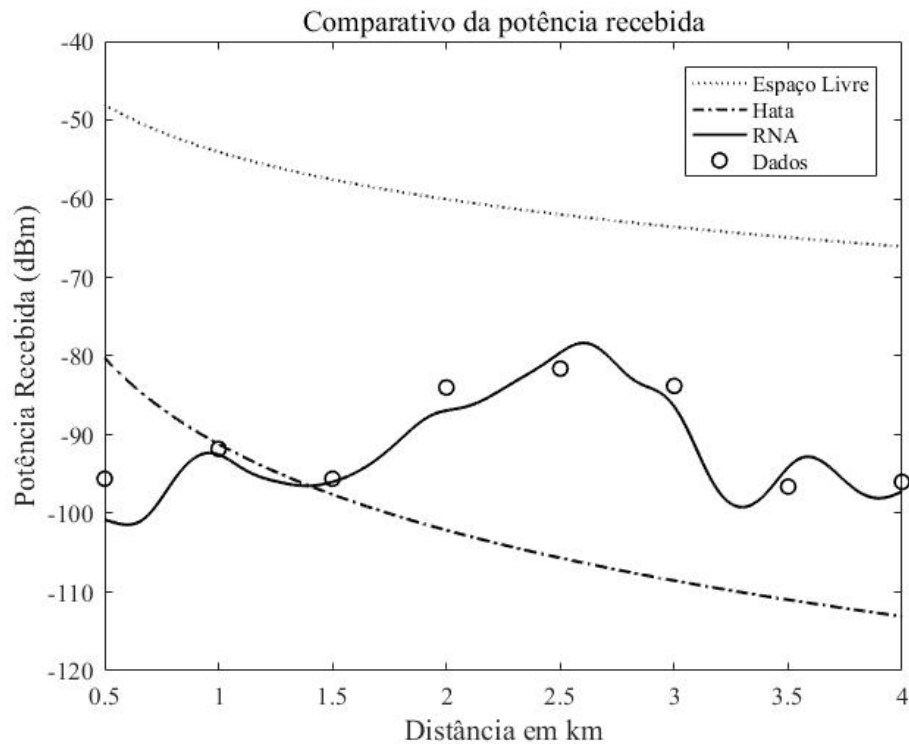
Para implementar essas análises foi criado um terceiro algoritmo no *Matlab*, cujo intuito é realizar o comparativo entre a potência recebida pelo levantamento realizado, o mesmo se encontra no Anexo C. Com os valores calculados pelos modelos de propagação no espaço livre e modelo Hata.

O modelo em espaço livre é um modelo de caráter mais genérico, ele não tende a considerar árvores, elementos naturais, prédios, casas, e entre outros elementos do meio urbano, desse modo é apenas um modelo ideal que para essa análise possui apenas valor comparativo com a RNA analisada para potência recebida, conforme a Figura 49, é natural que próximo a ERB o valor seja consideravelmente bom e quanto mais aumentamos a distância esse valor decresce suavemente com valor final em 4 km próximo de -70 dBm.

O modelo Hata, por sua vez, estima o sinal com maior precisão, uma vez que considera elementos urbanos, como edifícios e obstáculos em sua análise, também considerando a distância entre a torre e o elemento receptor. Conforme é apresentado na Figura 49, o modelo

já apresenta uma curva mais realista de valores com os que foram justamente encontradas na pesquisa. Próximo a torre o sinal é bom e fica por volta de -80 dBm , já para 4 km de distância esse valor decai e fica bem perto de -110 dBm . A curva da RNA na Figura 49 mostra o comportamento

Figura 49 – Comparativo entre RNA e modelos de propagação



Fonte: Autor (2023)

para a potência recebida em 0° conforme os dados coletados. É importante evidenciar que pelo modelo o Hata assim como o modelo de espaço livre, essa propagação tende a decair, entretanto para a distância de 2 km a $2,5\text{ km}$, tem-se um bom valor de potência recebida variando entre -75 a -77 dBm , tais fatores podem levar em consideração os obstáculos que o sinal enfrenta até chegar nessa localidade, assim como quantidade de usuários que podem estar usando a rede naquele determinado momento, o horário da coleta, a propagação do sinal, dentre outros fatores que podem influenciar nessa análise.

4.5 PANORAMA GERAL DO MAPEAMENTO PARA A CIDADE

Conforme a pesquisa foi procedida, temos a Tabela 4 que contém os dados para cada bairro e localidade mapeada. Foram coletados dados em 9 bairros e próximo a UFERSA, para cada ângulo pelo menos um bairro está associado ao mesmo, desse modo conforme se avançava no raio de sensoriamento até 4 km era possível que ocorresse a mudança de bairros, e que um

bairro tenha mais de um quadrante associado bem como mais de um ângulo também.

Tabela 4 – Distâncias e ângulos entre bairros de Caraúbas-RN

Bairros	Quadrantes	Ângulos	Distância (km)
Centro	1°, 2°, 3° e 4°	0° a 315°	0,5 a 1
Sebastião Maltês	1°	45° e 90°	1,5 a 2,5
Leandro Bezerra	1° e 4°	0° e 315°	1,5 a 3
Conj. Maria Bandeira	1°	0° e 45°	3 a 4
Antonio Linhares	2°	90° e 135°	1,5 a 2,5
UFERSA	2°	135°	3 a 4
Conj. Nestor Fernandes	2° e 3°	180°	1,5 a 2,5
Santa Agostinha	3°	225°	1,5 a 2,5
Alto da Liberdade	3° e 4°	270° e 315°	2,5 a 4
Alto São Severino	3°	225° e 270°	2,5 a 4

Fonte: Autor (2023)

Dadas as informações da Tabela 4 e com os valores obtidos para a potência de sinal recebida já vistos em seções anteriores, é possível agora resumir e analisar os pontos onde cada localidade possui valores de aceitáveis e valores com baixa qualidade.

- **Centro:** O centro é o maior beneficiário pois nele é onde existe a maior circulação de pessoas diária e a torre está bem próxima com um raio de no máximo 1 *km*, em quase todos os ângulos a potência recebida pode ser classificada com boa ou excelente variando entre -70 a -80 *dBm*, entretanto, analisando os gráficos da potência recebida é possível visualizar que no quarto quadrante o sinal em 315° decai bastante até chegar em 1 *km*, tendo sua potência associada a algo em torno de -103 *dBm*, que é considerado um valor relativamente fraco. Em 135°, correspondente ao segundo quadrante, é onde temos a melhor potência recebida inicialmente chegando a valores próximos de -75 *dBm*.
- **Sebastião Maltês:** Dentro do primeiro quadrante e localizado entre 1,5 a 2,5 *Km* esse bairro possui dois ângulos associados, em 45° nessa distância localizada sua potência de sinal possui um sinal de -95 *dBm* no seu melhor ponto o que ainda é considerado relativamente fraco conseguindo ainda chegar em um valor por volta de -107 *dBm*.
- **Leandro Bezerra:** Esse bairro se localiza na intercepção de dois quadrantes, sendo os ângulos de 0° e 315° nas distâncias entre 1,5 a 3 *km*. Em 0° o sinal de potência recebida consegue atingir um valor de -77 *dBm*, o que é considerado um sinal bom. Já para 90° o sinal inicialmente é muito baixo por volta de -105 *dBm* mas tem uma crescente melhora tendo seu melhor ponto em -94 *dBm*, mas mesmo assim ainda é um sinal fraco.
- **Conjunto Maria Bandeira:** Fica localizado no primeiro quadrante, e ocupa os ângulos de

0° e 45° na distância de 3 a 4 *km*. Para 0° o valor é considerado fraco, tendo seu melhor valor em -93 *dBm*, Já para 45° temos uma pequena melhora com o valor de -87 *dBm*, sendo considerado um valor médio para potência recebida.

- **Antônio Linhares:** Para esse bairro, sua localização é dada no 2° quadrante onde o mesmo está disposto em 90° e 135° com uma distância entre 1,5 a 2,5 *Km*. Em 90°, o sinal é fraco chegando a -95 *dBm* em seu melhor valor. Para 135° o valor é melhor ficando com -85 *dBm* sendo um sinal médio.
- **UFERSA:** Para essa localidade, a mesma se encontra no 2° quadrante para 135° a uma distância de 3 a 4 *km*, tendo uma potência recebida média de -88 *dBm*, sendo considerado um valor médio dentro dos valores comparativos.
- **Conjunto Nestor Fernandes:** Esse conjunto está localizado em dois quadrantes visto estar a 180° a uma distância de 1,5 a 2,5 *km* possui um valor médio de potência em -85 *dBm*, considerado um valor médio de potência recebida.
- **Santa Agostinha:** Localizada no 3° quadrante, em 225° em uma distância de 1,5 a 2,5 *km*, esse localidade possui também um valor médio para a potência recebida em torno de -88 *dBm*.
- **Alto da liberdade:** É um dos maiores bairros da cidade, está localizado entre o 3° e 4° quadrante e assume dois ângulos, sendo esses o de 270° e 315° a uma distância de 2,5 a 4 *km*. O melhor valor para 270° se encontra no início do bairro próximo a 2,5 *km* com -83 *dbm*, sendo esse um valor considerado próximo de bom; entretanto no final do bairro o sinal chega a -108 *dBm*, considerado muito fraco. Em 315° o resultado não é muito diferente do início do bairro tem um valor próximo de -92 *dbm*, sendo um valor médio, entretanto, esse valor ao final de 4 *km* chega a quase -115 *dBm*, sendo essa a pior potência recebida registrada.
- **Alto são severino:** Localiza-se no 3° quadrante entre os ângulos de 225° e 270° a uma distância de 2,5 a 4 *km*, esse bairro tem fronteira com o alto da liberdade. Em 225° seu melhor valor está no início do bairro com -93 *dBm*, sendo um valor médio. Entretanto, no final do bairro esse valor chega próximo a -110 *dBm* sendo bem baixo.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O respectivo trabalho apresentou uma análise de estudo referente a predição de sinal de potência voltada ao município de Caraúbas localizada no estado do Rio Grande do Norte. Foi abordado durante todo trabalho alguns aspectos históricos das telecomunicações, alguns conceitos base para o mesmo, na sequência uma breve síntese sobre os modelos de propagação de sinal, um estudo sobre redes neurais artificiais com suas principais características e por fim a implementação do projeto aplicado a cidade. Foram levantados dados estatísticos das localidades estudadas e com o auxílio do *software Matlab* utilizando o algoritmo *Levenberg-Marquardt Backpropagation* e realizando a interação com a *toolbox nntool*, foi possível realizar o ajuste e a projeção desses dados para o trabalho com o plot das curvas conforme os ângulos e alguns outros parâmetros dentre eles a velocidade de *download*, *upload* e latência. Por fim, foi realizado um comparativo com os modelos de propagação livre e o modelo Hata em relação a curva de 0° que é a de referência para o projeto.

O trabalho apresentou dados de caráter significativos e dentro dos limites que a pesquisa se propunha realizar. Alguns erros e divergências podem ocorrer devido a vários fatores, como o estudo foi realizado em um ambiente totalmente aberto e dependente do sinal emitido por uma ERB, é possível que existam pequenas interferências de sinal por outras ERBs, bem como sobreposição de sinal e ainda pequenas perdas de transmissão. Podemos destacar os horários e dias de coleta que também podem interferir no levantamento de dados, a quantidade de usuários utilizando os serviços da operadora, os horários que existem maior pico e demanda.

O relevo da cidade também é outro fator cuja atenção deve ser tomada, no centro existem muitos edifícios com mais de um andar próximos a ERB, o que retem bastante o sinal para a entrada de alguns bairros, principalmente no primeiro e quarto quadrante. O desnível e mudança de altitude entre os bairros também pode gerar perdas nos dados. Outro fator a ser explorado é o erro e a calibragem dos próprios aplicativos usados, pois durante a coleta de dados era comum que algum dado tivesse uma divergência muito maior do que os testes que vinham sendo computados.

Como possíveis soluções cabe a operadora de telefonia TIM, realizar pesquisas de satisfação com os moradores locais e averiguar possíveis falhas e perdas de sinal nas principais localidades analisadas, dando foco àquelas que estão um pouco mais distantes da ERB, outro fator poderia ser a melhoria da faixa de frequência da transmissão, monitoramento de seus horários de pico entre outras soluções que a empresa considere viável diante dos custos. Todo

esse levantamento se faz necessário para que se tenha sinal de qualidade entre bom e médio em todo o raio de sensoriamento da cidade. Tais melhorias sugeridas tem como objetivo um mapeamento de como a cidade corresponde ao sinal 4G no presente momento e quais pontos a mesma necessita de uma maior atenção para a chegada do 5G que será implementado nos próximos anos.

Para trabalhos futuros, ou dados como referência a esse é possível comparar os valores entre dois aplicativos diferentes e visualizar os resultados, aumentar o raio de sensoriamento, assim tendo mais pontos para estudar, realizar mapeamento por bairro, comparar duas ou mais ERBs de operadoras diferentes, comparar o sinal móvel com o sinal cabeado para determinadas localidades, utilizar modelos de rede neural diferentes com aprendizado supervisionado, não supervisionado, dentre outros. É possível utilizar como parâmetros de entrada os dados de latitude e longitude, e dentre outras aplicações para aperfeiçoamento e estudos aplicados a área.

Por fim, de maneira geral, o projeto mostrou um panorama com alguns detalhes da perda em alguns bairros, e próximo a UFERSA. Conforme o mapeamento e o levantamento realizado, podemos destacar que o bairro Alto da liberdade é o bairro mais afetado com a perda de sinal de potência recebida, em virtude de ser um pouco afastado do centro e ser um dos maiores da cidade. O melhor ponto com potência recebida foi no centro entre 0,5 a 1 *km* no terceiro quadrante em 225°. Com isso, pode-se concluir que os objetivos para esse trabalho foram atingidos, e os resultados obtidos podem ser considerados de caráter satisfatório.

REFERÊNCIAS

- ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/>>. Acessado em: 01 maio 2023.
- BARROS, I. M. C. Análise e avaliação de desempenho dos sistemas móveis celulares em pau dos ferros-rn. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.
- CARVALHO, N. P. D. Rede neural artificial aplicada à predição de cobertura de sinal rádio móvel em vegetação. 2020.
- FERREIRA, V. B. F. Evolução do setor de telecomunicações no brasil. **Artigo apresentado e publicado nos anais do II Encontro Científico da Campanha Nacional das Escolas da Comunidade (II EC-CNEC), Varginha**, p. 9–10, 2004.
- FEY, A. F.; GAUER, R. R. **Fundamentos de Telecomunicações e Comunicação de Dados**. [S.l.]: Clube de Autores, 2016.
- FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E.; HELMANN, A. C.; ANDRADE, M. A. d. M. Redes neurais artificiais: Princípios básicos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 13, p. 47–57, 2016.
- GODINHO, H. F.; LINOS, C. G. d. S.; FILHO, O. d. O. O.; XAVIER, C. d. S. Uma abordagem sobre a tecnologia 4g lte e sua aplicação no brasil. **Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza**, v. 1, n. 120, p. 1–14, 2018.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 01 maio 2023.
- JUNIOR, A. N. Aplicação de redes neurais utilizando o software matlab. 2005.
- JÚNIOR, E. M. J.; VEIGA, A. C. P.; SANTOS, T. N. Predição de perda de percurso utilizando redes neurais artificiais em um canal de tv uhf em uberlândia/brasil. **Conjecturas**, v. 22, n. 18, p. 931–954, 2022.
- KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002.
- LAS-CASAS, M. S. Modelagem utilizando redes neurais artificiais para predição da percentagem de ferrita e parâmetros geométricos de cordões de solda de aços inoxidáveis austeníticos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- LOUREIRO, A. A.; SADOK, D. F.; MATEUS, G. R.; NOGUEIRA, J. M. S.; KELNER, J. Comunicação sem fio e computação móvel: tecnologias, desafios e oportunidades. In: **Minicurso apresentado no Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Campinas, SP**. [S.l.: s.n.], 2003. v. 78.
- LUCA, V. de. **Implantação e gerenciamento de uma rede sem fio nos domínios de um campus universitário**. Tese (Bacharel em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Lavras - UFLA, LARVAS, 2010.
- MATSUNAGA, V. Y. Curso de redes neurais utilizando o matlab. **Belém do Pará**, 2012.
- MELLO, B. R. S. Modelo de propagação para ambiente de parque urbano. Niterói, 2012.

MENESES, E. d. Rede wireless: Uma solução sem fios. **Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, Ceará**, v. 1, n. 4, 2011.

MENEZES, G. C. Modelo e algoritmos para a definição da densidade, cobertura e conectividade em uma rede de sensores sem fio. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

RAMOS, A. M. **Planeamento móvel em redes 3G: o caso de Cabo Verde-Ilha de Santiago-Cidade da Praia**. Tese (Doutorado), 2017.

ROZA, R. H. Revolução informacional e os avanços tecnológicos da informática e das telecomunicações. [TESTE] **Ciência da Informação em Revista**, v. 4, n. 3, p. 3–11, 2017.

SANTANA, Í. L. D. C. Do 1g ao 5g: Evolucao das redes de telefonia movel. p. 27–84, 2016.

SASSI, R. J. **Uma arquitetura híbrida para descoberta de conhecimento em bases de dados: teoria dos rough sets e redes neurais artificiais mapas auto-organizáveis**. Tese (Doutorado) — PhD thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SILVA, A. P. P. A politica de telecomunicações no brasil: historico, analise e tendencias. Escola Brasileira de Administração Pública da FGV, 1995.

SILVA, L. F. d.; BARBOSA, C. H. N. d. R.; ANDRADE, A. V.; CASTRO, C. L. d. Uma ferramenta didática para aprendizagem de redes sem fio. 2005.

TELECO. **Teleco - Informação para o Setor de Telecomunicações**. 2023. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/>>. Acessado em: 01 maio 2023.

VALADAO, E.; GUEDES, D.; DUARTE, R. Caracterização de tempos de ida-e-volta na internet. **arXiv preprint arXiv:1202.2153**, 2012. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1202.2153.pdf>>.

VASCONCELOS, G. V. Dissertação de mestrado especificação de componentes para modelagem de redes locais de computadores sem fio padrão ieee 802.11. 2002.

ANEXO A – CÓDIGO MATALAB PARA TREINAMENTO DA REDE

[illegible]

ANEXO B – CÓDIGO EM MATLAB PARA GRÁFICOS DE SAÍDA

```
% REDE NEURAL ARTIFICIAL - MODELO DE PROPAGAÇÃO - CARAUBAS / RN
% TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - GUILHERME
% ORIENTADOR: Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo
% //////////////////////////////////// inicialização
////////////////////////////////////
clear;
clc;
close all;
load Resp_Train_Pot
% ////////////////////////////////// Gráfico_Potência_Recebida
////////////////////////////////////
dist = [500:0.1:4000]/entmax(2);
angulo0 = zeros(1,length(dist));
ent0 = [angulo0;dist];
valores_pot_norm0 = sim(net,ent0);
valores_pot0 = valores_pot_norm0*saidamax;

angulo45 = 45*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent45 = [angulo45;dist];
valores_pot_norm45 = sim(net,ent45);
valores_pot45 = valores_pot_norm45*saidamax;

angulo90 = 90*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent90 = [angulo90;dist];
valores_pot_norm90 = sim(net,ent90);
valores_pot90 = valores_pot_norm90*saidamax;

angulo135 = 135*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent135 = [angulo135;dist];
valores_pot_norm135 = sim(net,ent135);
valores_pot135 = valores_pot_norm135*saidamax;

angulo180 = 180*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent180 = [angulo180;dist];
valores_pot_norm180 = sim(net,ent180);
valores_pot180 = valores_pot_norm180*saidamax;

angulo225 = 225*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent225 = [angulo225;dist];
valores_pot_norm225 = sim(net,ent225);
valores_pot225 = valores_pot_norm225*saidamax;

angulo270 = 270*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent270 = [angulo270;dist];
valores_pot_norm270 = sim(net,ent270);
valores_pot270 = valores_pot_norm270*saidamax;

angulo315 = 315*ones(1,length(dist))/entmax(1);
ent315 = [angulo315;dist];
valores_pot_norm315 = sim(net,ent315);
valores_pot315 = valores_pot_norm315*saidamax;
```

ANEXO C – CÓDIGO EM MATLAB PARA MODELOS DE PROPAGAÇÃO

```
% REDE NEURAL ARTIFICIAL - MODELO DE PROPAGAÇÃO - CARAUBAS / RN
% TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - GUILHERME
% ORIENTADOR: Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo
% //////////////////////////////////// inicialização
////////////////////////////////////
clear;
clc;
close all;
load Resp_Train_Pot

% Média dos dados;
dis = [500:500:4000];
PrM = [];
for a = 1:length(dis)
    pos = find(dadosR(2,:)==dis(a) & dadosR(1,:)==0);
    PrM = [PrM sum(dadosR(3,pos))/length(pos)];
end

% ////////////////////////////////// Gráfico_Potência_Recebida_Esp_Livre_Hata
////////////////////////////////////
distancia = [500:0.1:4000];
Gt = 17;
Pt = 20;
Gr = 0;
Lfs = 32.46 + 20*log10(distancia/1000) + 20*log10(850);

Ahr = (1.1*log10(850)-0.7)*1.5 - (1.56*log10(850) - 0.8);
Lh = 69.55 + 26.16*log10(850) - 13.82*log10(20) - Ahr +(44.9-
6.55*log10(20))*log10(distancia/1000);

Pr_Lfs = Pt + Gt + Gr - Lfs;
Pr_Lh = Pt + Gt + Gr - Lh;

dist = distancia/entmax(2);
angulo0 = zeros(1,length(dist));
ent0 = [angulo0;dist];
valores_pot_norm0 = sim(net,ent0);
valores_pot0 = valores_pot_norm0*saidamax;

plot(distancia/1000, Pr_Lfs, 'r:', distancia/1000, Pr_Lh, 'k-.',
dist*entmax(2)/1000,valores_pot0, 'b', dis/1000, PrM, 'go',
'linewidth',1);
title('Comparativo da potência recebida', 'FontSize', 12, 'FontWeight',
'normal', 'FontName', 'Times');
legend('Espaço Livre', 'Hata', 'RNA', 'Dados');
ylabel('Potência Recebida (dBm)', 'FontSize', 12, 'FontName', 'Times');
xlabel('Distância em km', 'FontSize', 12, 'FontName', 'Times');
a = gcf();
a.CurrentAxes.FontName = 'Times';
a.Color = [1 1 1];
```

ANEXO D – DADOS COLETADOS

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	500	1° Teste	-97	58	87,9	30,2
2° Teste	0°	500	2° Teste	-91	63	103	28,8
3° Teste	0°	500	3° Teste	-97	60	57,8	28,3
4° Teste	0°	500	4° Teste	-94	60	87,6	28,7
5° Teste	0°	500	5° Teste	-99	60	94,8	30,1

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	1500	1° Teste	-93	61	17,1	14
2° Teste	0°	1500	2° Teste	-106	59	40,4	8,48
3° Teste	0°	1500	3° Teste	-94	63	40,1	17,7
4° Teste	0°	1500	4° Teste	-93	64	36,3	19,4
5° Teste	0°	1500	5° Teste	-92	64	51	9,32

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	2500	1° Teste	-75	61	51,8	18,7
2° Teste	0°	2500	2° Teste	-91	65	63,6	8,14
3° Teste	0°	2500	3° Teste	-90	59	61,2	17,8
4° Teste	0°	2500	4° Teste	-76	53	64,8	16,8
5° Teste	0°	2500	5° Teste	-76	57	62,7	17,6

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	3500	1° Teste	-90	60	58,8	16
2° Teste	0°	3500	2° Teste	-105	65	42,5	26,2
3° Teste	0°	3500	3° Teste	-97	64	28	28,2
4° Teste	0°	3500	4° Teste	-95	60	47,6	27,9
5° Teste	0°	3500	5° Teste	-96	59	63,3	20,5

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	500	1° Teste	-84	58	78,4	28,6
2° Teste	45°	500	2° Teste	-85	57	46,9	8,57
3° Teste	45°	500	3° Teste	-86	59	17,3	2,34
4° Teste	45°	500	4° Teste	-98	58	52,7	19
5° Teste	45°	500	5° Teste	-96	54	55,7	24,7

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	1500	1° Teste	-110	809	0,57	0,05
2° Teste	45°	1500	2° Teste	-110	117	0,67	0,124
3° Teste	45°	1500	3° Teste	-110	87	0,118	0,03
4° Teste	45°	1500	4° Teste	-98	117	0,124	0,233
5° Teste	45°	1500	5° Teste	-105	98	0,632	0,324

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	2500	1° Teste	-100	67	58,8	4,42
2° Teste	45°	2500	2° Teste	-102	60	46,8	6,32
3° Teste	45°	2500	3° Teste	-99	64	34,6	5,41
4° Teste	45°	2500	4° Teste	-101	60	30,7	5,07
5° Teste	45°	2500	5° Teste	-103	60	63,6	4,442

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	3500	1° Teste	-93	56	60,5	19,1
2° Teste	45°	3500	2° Teste	-89	67	61,4	22
3° Teste	45°	3500	3° Teste	-96	66	31,3	9,56
4° Teste	45°	3500	4° Teste	-97	61	48,8	6,03
5° Teste	45°	3500	5° Teste	-94	62	36,2	8,2

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	500	1° Teste	-76	59	91,5	29,5
2° Teste	90°	500	2° Teste	-80	54	66,9	26,5
3° Teste	90°	500	3° Teste	-81	62	91,1	28,1
4° Teste	90°	500	4° Teste	-74	58	83,4	30,2
5° Teste	90°	500	5° Teste	-75	55	78,1	29,3

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	1500	1° Teste	-107	65	34,3	1,29
2° Teste	90°	1500	2° Teste	-108	69	47	2,15
3° Teste	90°	1500	3° Teste	-107	64	18,5	2,35
4° Teste	90°	1500	4° Teste	-86	484	32,2	1,62
5° Teste	90°	1500	5° Teste	-106	511	42,7	1,94

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	2500	1° Teste	-97	64	54	5,34
2° Teste	90°	2500	2° Teste	-98	57	19,7	9,35
3° Teste	90°	2500	3° Teste	-109	65	48,8	16,6
4° Teste	90°	2500	4° Teste	-104	59	46,3	19,8
5° Teste	90°	2500	5° Teste	-97	66	68,7	12,1

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	3500	1° Teste	-97	58	64,6	6,81
2° Teste	90°	3500	2° Teste	-98	64	64,3	16,4
3° Teste	90°	3500	3° Teste	-100	67	55,7	14,2
4° Teste	90°	3500	4° Teste	-94	58	41	14,9
5° Teste	90°	3500	5° Teste	-97	66	41,7	17,5

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	500	1° Teste	-77	56	81,3	23,8
2° Teste	135°	500	2° Teste	-81	58	77,1	27,4

3° Teste	135°	500	3° Teste	-78	66	71,9	30
4° Teste	135°	500	4° Teste	-82	60	55,4	29,4
5° Teste	135°	500	5° Teste	-79	60	46,9	29,2

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	1500	1° Teste	-87	60	48,1	6,81
2° Teste	135°	1500	2° Teste	-86	78	41,5	1,62
3° Teste	135°	1500	3° Teste	-88	57	43	6,14
4° Teste	135°	1500	4° Teste	-86	68	43,9	4,05
5° Teste	135°	1500	5° Teste	-87	63	44,9	2,78

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	2500	1° Teste	-90	66	9,9	0,755
2° Teste	135°	2500	2° Teste	-90	70	4,59	0,501
3° Teste	135°	2500	3° Teste	-90	752	3,19	0,13
4° Teste	135°	2500	4° Teste	-90	70	2,94	0,13
5° Teste	135°	2500	5° Teste	-90	710	3	0,115

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	3500	1° Teste	-104	79	11,7	0,165
2° Teste	135°	3500	2° Teste	-110	65	3,91	0,1
3° Teste	135°	3500	3° Teste	-110	221	1,78	0,105
4° Teste	135°	3500	4° Teste	-103	264	2,45	0,135
5° Teste	135°	3500	5° Teste	-105	230	3,17	0,233

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	500	1° Teste	-86	57	128	30,1
2° Teste	180°	500	2° Teste	-87	56	141	26,1
3° Teste	180°	500	3° Teste	-87	61	145	28,8
4° Teste	180°	500	4° Teste	-89	59	109	29,4
5° Teste	180°	500	5° Teste	-88	55	128	30

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	1500	1° Teste	-103	74	24,9	0,808
2° Teste	180°	1500	2° Teste	-77	68	25,8	0,85
3° Teste	180°	1500	3° Teste	-80	65	58,1	2,69
4° Teste	180°	1500	4° Teste	-81	69	55,7	3,39
5° Teste	180°	1500	5° Teste	-79	69	53,6	0,744

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	2500	1° Teste	-88	83	3,12	0,107
2° Teste	180°	2500	2° Teste	-88	77	3,04	0
3° Teste	180°	2500	3° Teste	-79	80	4,34	0,12
4° Teste	180°	2500	4° Teste	-80	844	3,34	0,13
5° Teste	180°	2500	5° Teste	-82	107	2,96	0,03

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	3500	1° Teste	-88	73	15	0,682
2° Teste	180°	3500	2° Teste	-91	81	26,1	0,736
3° Teste	180°	3500	3° Teste	-90	65	16,6	0,67
4° Teste	180°	3500	4° Teste	-90	67	21,7	0,582
5° Teste	180°	3500	5° Teste	-90	70	12,1	0,969

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	500	1° Teste	-84	56	81,2	27,5
2° Teste	225°	500	2° Teste	-80	56	154	26,8
3° Teste	225°	500	3° Teste	-82	55	153	30,1
4° Teste	225°	500	4° Teste	-83	53	96,2	28,3
5° Teste	225°	500	5° Teste	-82	56	94,1	28,7

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	1500	1° Teste	-99	58	49,1	2,11
2° Teste	225°	1500	2° Teste	-101	61	43,5	3,47
3° Teste	225°	1500	3° Teste	-102	64	42,6	4,71
4° Teste	225°	1500	4° Teste	-100	64	46,9	1,38
5° Teste	225°	1500	5° Teste	-97	68	42,9	1,79

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	2500	1° Teste	-96	73	27,1	2,77
2° Teste	225°	2500	2° Teste	-105	66	41,5	2,32
3° Teste	225°	2500	3° Teste	-104	74	35,1	1,76
4° Teste	225°	2500	4° Teste	-105	60	47,9	0,718
5° Teste	225°	2500	5° Teste	-106	545	47,3	2,31

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	3500	1° Teste	-97	239	28,9	12,7
2° Teste	225°	3500	2° Teste	-99	66	43,9	8,16
3° Teste	225°	3500	3° Teste	-100	62	41,1	11,3
4° Teste	225°	3500	4° Teste	-98	67	41,5	8,97
5° Teste	225°	3500	5° Teste	-99	69	35,4	8,65

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	500	1° Teste	-75	59	130	20,6
2° Teste	270°	500	2° Teste	-69	58	117	13,1
3° Teste	270°	500	3° Teste	-69	57	108	17,5
4° Teste	270°	500	4° Teste	-71	56	94,3	17,3
5° Teste	270°	500	5° Teste	-75	58	76,8	15,3

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	1500	1° Teste	-95	67	39	12,4

2° Teste	270°	1500	2° Teste	-92	62	43,6	7,24
3° Teste	270°	1500	3° Teste	-92	64	40,8	6,86
4° Teste	270°	1500	4° Teste	-94	68	45,2	9,46
5° Teste	270°	1500	5° Teste	-93	62	47	11,1

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	2500	1° Teste	-92	71	0	0
2° Teste	270°	2500	2° Teste	-90	64	0	0
3° Teste	270°	2500	3° Teste	-84	68	44,3	1,71
4° Teste	270°	2500	4° Teste	-88	490	34,3	0,499
5° Teste	270°	2500	5° Teste	-87	64	39,6	0,628

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	3500	1° Teste	-106	68	60,2	1,71
2° Teste	270°	3500	2° Teste	-107	64	22,6	1,88
3° Teste	270°	3500	3° Teste	-105	64	30,5	0,187
4° Teste	270°	3500	4° Teste	-111	65	30,1	0,384
5° Teste	270°	3500	5° Teste	-110	61	27,4	1,902

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	500	1° Teste	-99	55	43,5	9,77
2° Teste	315°	500	2° Teste	-101	55	27,7	8,77
3° Teste	315°	500	3° Teste	-101	59	39	9,5
4° Teste	315°	500	4° Teste	-102	61	44	5,25
5° Teste	315°	500	5° Teste	-102	57	46,9	5,14

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	1500	1° Teste	-87	63	14,6	2,83
2° Teste	315°	1500	2° Teste	-94	60	0,01	2,49
3° Teste	315°	1500	3° Teste	-96	64	0	0
4° Teste	315°	1500	4° Teste	-95	57	0	0
5° Teste	315°	1500	5° Teste	-95	88	0	0

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	2500	1° Teste	-113	59	55,2	6,73
2° Teste	315°	2500	2° Teste	-113	65	41,2	4,92
3° Teste	315°	2500	3° Teste	-113	63	56,1	8,96
4° Teste	315°	2500	4° Teste	-113	66	58,2	12,8
5° Teste	315°	2500	5° Teste	-79	62	59,1	10,7

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	3500	1° Teste	-77	79	9,31	0,214
2° Teste	315°	3500	2° Teste	-102	82	6,62	0,285
3° Teste	315°	3500	3° Teste	-102	339	12,7	0,165
4° Teste	315°	3500	4° Teste	-108	64	11	0,456
5° Teste	315°	3500	5° Teste	-108	1057	0	0,544

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	1000	1° Teste	-92	57	49,3	23,8
2° Teste	0°	1000	2° Teste	-91	56	64,3	26,9
3° Teste	0°	1000	3° Teste	-89	60	56	4,13
4° Teste	0°	1000	4° Teste	-93	56	64	28,2
5° Teste	0°	1000	5° Teste	-94	57	60,6	24,4

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	2000	1° Teste	-82	57	65	18,3
2° Teste	0°	2000	2° Teste	-83	62	66,6	18,6
3° Teste	0°	2000	3° Teste	-84	64	70,5	14,4
4° Teste	0°	2000	4° Teste	-85	64	57,7	14,1
5° Teste	0°	2000	5° Teste	-86	63	50,5	18,1

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	3000	1° Teste	-77	61	61	16,7
2° Teste	0°	3000	2° Teste	-90	63	55,9	18,5
3° Teste	0°	3000	3° Teste	-105	60	30,6	17,8
4° Teste	0°	3000	4° Teste	-74	66	47,6	12,7
5° Teste	0°	3000	5° Teste	-73	66	56,4	17,7

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	0°	4000	1° Teste	-93	65	53,1	8,72
2° Teste	0°	4000	2° Teste	-96	68	46,5	9,62
3° Teste	0°	4000	3° Teste	-97	59	50,2	3,31
4° Teste	0°	4000	4° Teste	-98	60	58	1,23
5° Teste	0°	4000	5° Teste	-96	70	49,2	7,47

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	1000	1° Teste	-108	59	41,1	8,51
2° Teste	45°	1000	2° Teste	-107	60	53,4	13,7
3° Teste	45°	1000	3° Teste	-108	57	58,3	13
4° Teste	45°	1000	4° Teste	-109	61	32,5	14,2
5° Teste	45°	1000	5° Teste	-107	59	57,1	6,47

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	2000	1° Teste	-99	99	6,16	0,187
2° Teste	45°	2000	2° Teste	-97	482	15,5	0,127
3° Teste	45°	2000	3° Teste	-96	93	12,2	0,714
4° Teste	45°	2000	4° Teste	-96	296	22,5	0,992
5° Teste	45°	2000	5° Teste	-97	67	20	0,881

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	3000	1° Teste	-111	61	40,3	3,77
2° Teste	45°	3000	2° Teste	-112	66	56,9	8,97
3° Teste	45°	3000	3° Teste	-96	67	62,2	8,61
4° Teste	45°	3000	4° Teste	-98	69	62,1	5,66
5° Teste	45°	3000	5° Teste	-96	59	35,9	0,876

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	45°	4000	1° Teste	-95	60	65,5	7,24
2° Teste	45°	4000	2° Teste	-92	64	20,1	9,53
3° Teste	45°	4000	3° Teste	-92	70	51,7	13,1
4° Teste	45°	4000	4° Teste	-91	60	50	18,8
5° Teste	45°	4000	5° Teste	-93	72	15,5	13,2

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	1000	1° Teste	-86	68	4,16	216
2° Teste	90°	1000	2° Teste	-85	64	6,43	119
3° Teste	90°	1000	3° Teste	-86	78	7,64	355
4° Teste	90°	1000	4° Teste	-83	82	7,54	188
5° Teste	90°	1000	5° Teste	-86	69	9,4	534

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	2000	1° Teste	-90	67	40,2	28,1
2° Teste	90°	2000	2° Teste	-94	57	27,4	11,7
3° Teste	90°	2000	3° Teste	-89	63	44,5	14,2
4° Teste	90°	2000	4° Teste	-94	58	31,6	10,6
5° Teste	90°	2000	5° Teste	-95	72	58,4	15,7

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	3000	1° Teste	-102	61	55,5	20,4
2° Teste	90°	3000	2° Teste	-106	56	42,7	21,9
3° Teste	90°	3000	3° Teste	-106	56	42,4	17
4° Teste	90°	3000	4° Teste	-95	58	27,7	22,6
5° Teste	90°	3000	5° Teste	-90	61	58,9	21,5

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	90°	4000	1° Teste	-89	63	63,9	23,2
2° Teste	90°	4000	2° Teste	-88	65	41	20,9
3° Teste	90°	4000	3° Teste	-98	66	62,9	19,3
4° Teste	90°	4000	4° Teste	-81	60	50,9	17,9
5° Teste	90°	4000	5° Teste	-87	57	46	21,9

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	1000	1° Teste	-96	75	60	1,38
2° Teste	135°	1000	2° Teste	-98	63	47,8	1,41

3° Teste	135°	1000	3° Teste	-97	61	45,6	0,813
4° Teste	135°	1000	4° Teste	-98	70	47,3	1,21
5° Teste	135°	1000	5° Teste	-101	63	53,8	1,31

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	2000	1° Teste	-97	75	13,7	0,316
2° Teste	135°	2000	2° Teste	-95	88	6,48	0,162
3° Teste	135°	2000	3° Teste	-98	133	10,8	0,247
4° Teste	135°	2000	4° Teste	-93	71	15,6	0,199
5° Teste	135°	2000	5° Teste	-97	73	1,38	0,41

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	3000	1° Teste	-96	67	14,5	4,29
2° Teste	135°	3000	2° Teste	-95	72	16,1	2,18
3° Teste	135°	3000	3° Teste	-98	65	16,6	7,75
4° Teste	135°	3000	4° Teste	-97	76	25,6	4,29
5° Teste	135°	3000	5° Teste	-96	69	40,4	2,17

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	135°	4000	1° Teste	-95	70	29,8	0,483
2° Teste	135°	4000	2° Teste	-103	60	25,6	0,837
3° Teste	135°	4000	3° Teste	-102	69	45,8	3,51
4° Teste	135°	4000	4° Teste	-94	66	39,2	4,28
5° Teste	135°	4000	5° Teste	-93	386	44	0,701

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	1000	1° Teste	-75	54	34,7	3,21
2° Teste	180°	1000	2° Teste	-70	63	97,8	15,6
3° Teste	180°	1000	3° Teste	-69	55	83	16,3
4° Teste	180°	1000	4° Teste	-68	57	95,5	17,6
5° Teste	180°	1000	5° Teste	-69	58	93,9	16,8

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	2000	1° Teste	-92	83	10,9	1,27
2° Teste	180°	2000	2° Teste	-95	1037	9,94	0,447
3° Teste	180°	2000	3° Teste	-95	498	13,6	0,779
4° Teste	180°	2000	4° Teste	-87	66	15,2	0,509
5° Teste	180°	2000	5° Teste	-85	66	13,5	0,604

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	3000	1° Teste	-99	63	37,5	2,11
2° Teste	180°	3000	2° Teste	-101	67	45,2	1,18
3° Teste	180°	3000	3° Teste	-98	62	49,7	0,713
4° Teste	180°	3000	4° Teste	-99	64	44,9	0,638
5° Teste	180°	3000	5° Teste	-100	64	43,1	0,416

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	180°	4000	1° Teste	-114	150	1,37	0,089
2° Teste	180°	4000	2° Teste	-118	134	3,07	0,109
3° Teste	180°	4000	3° Teste	-110	90	5,14	0,277
4° Teste	180°	4000	4° Teste	-110	78	1,29	0,01
5° Teste	180°	4000	5° Teste	-110	77	1	0,105

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	1000	1° Teste	-65	57	50	2,18
2° Teste	225°	1000	2° Teste	-64	60	49,8	2,57
3° Teste	225°	1000	3° Teste	-67	67	46,3	1,93
4° Teste	225°	1000	4° Teste	-62	62	51	1,27
5° Teste	225°	1000	5° Teste	-65	60	58,6	6,7

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	2000	1° Teste	-85	72	12,3	0,373
2° Teste	225°	2000	2° Teste	-87	64	10,5	0,265
3° Teste	225°	2000	3° Teste	-82	80	9,92	0,258
4° Teste	225°	2000	4° Teste	-89	70	14,8	0,6
5° Teste	225°	2000	5° Teste	-90	847	0	0,562

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	3000	1° Teste	-97	61	44,8	2,24
2° Teste	225°	3000	2° Teste	-88	59	37,4	4,57
3° Teste	225°	3000	3° Teste	-100	56,1	55,1	6,6
4° Teste	225°	3000	4° Teste	-99	64	63,1	7
5° Teste	225°	3000	5° Teste	-100	63	56,3	6,22

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	225°	4000	1° Teste	-116	78	0,871	0,105
2° Teste	225°	4000	2° Teste	-117	108	2,99	0,009
3° Teste	225°	4000	3° Teste	-103	571	0,49	0,017
4° Teste	225°	4000	4° Teste	-116	402	1,52	0,003
5° Teste	225°	4000	5° Teste	-114	122	0,617	0,008

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	1000	1° Teste	-85	53	49,8	14,3
2° Teste	270°	1000	2° Teste	-84	84	57,4	24,2
3° Teste	270°	1000	3° Teste	-90	59	75,4	24,8
4° Teste	270°	1000	4° Teste	-88	58	65,4	21,5
5° Teste	270°	1000	5° Teste	-88	60	40	22,3

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	2000	1° Teste	-85	69	14,1	0,34

2° Teste	270°	2000	2° Teste	-85	76	9,9	0,195
3° Teste	270°	2000	3° Teste	-85	80	13,4	0,235
4° Teste	270°	2000	4° Teste	-93	81	7,34	0,164
5° Teste	270°	2000	5° Teste	-90	87	12,3	0,487

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	3000	1° Teste	-88	60	74,8	8,49
2° Teste	270°	3000	2° Teste	-96	62	42,6	8,64
3° Teste	270°	3000	3° Teste	-89	58	57,7	8,42
4° Teste	270°	3000	4° Teste	-90	60	65,7	7,69
5° Teste	270°	3000	5° Teste	-95	64	35	9,19

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	270°	4000	1° Teste	-109	240	1,64	0,005
2° Teste	270°	4000	2° Teste	-110	572	26,9	0,534
3° Teste	270°	4000	3° Teste	-114	78	11	0,524
4° Teste	270°	4000	4° Teste	-109	1051	0	1,49
5° Teste	270°	4000	5° Teste	-114	81	12,3	0,756

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	1000	1° Teste	-102	61	31,9	2,96
2° Teste	315°	1000	2° Teste	-100	70	34,2	2,89
3° Teste	315°	1000	3° Teste	-102	62	32,2	2,6
4° Teste	315°	1000	4° Teste	-100	63	44,3	1,83
5° Teste	315°	1000	5° Teste	-97	64	29,1	1,51

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	2000	1° Teste	-79	75	29,2	12,2
2° Teste	315°	2000	2° Teste	-84	66	27,6	11
3° Teste	315°	2000	3° Teste	-82	59	33,5	5,2
4° Teste	315°	2000	4° Teste	-81	60	28,6	10,5
5° Teste	315°	2000	5° Teste	-88	59	26,3	7,87

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	3000	1° Teste	-116	64	63,8	10,1
2° Teste	315°	3000	2° Teste	-111	60	77,4	12,4
3° Teste	315°	3000	3° Teste	-94	66	97,9	14,4
4° Teste	315°	3000	4° Teste	-94	63	74,3	12,8
5° Teste	315°	3000	5° Teste	-90	63	74	5

Entradas:	Ângulo	Distância	Saídas:	Pot. Recb.	Latência	Download	Upload
1° Teste	315°	4000	1° Teste	-108	61	10,5	0,094
2° Teste	315°	4000	2° Teste	-115	78	0	0,229
3° Teste	315°	4000	3° Teste	-119	1551	15,6	0,112
4° Teste	315°	4000	4° Teste	-119	73	4,28	0,093
5° Teste	315°	4000	5° Teste	-120	545	0	0,248