

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**PREDIÇÃO DE COBERTURA DE RÁDIO FREQUÊNCIA (RF) PARA O SISTEMA
DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR 5G COM ONDAS MILIMÉTRICAS**

LUCAS DIÓGENES PINHEIRO BARROSO

SÃO LUÍS - MA

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

LUCAS DIÓGENES PINHEIRO BARROSO

**PREDIÇÃO DE COBERTURA DE RÁDIO FREQUÊNCIA (RF) PARA O SISTEMA
DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR 5G COM ONDAS MILIMÉTRICAS**

Trabalho apresentado ao curso de Graduação em Engenharia da Computação e Sistemas na Universidade Estadual do Maranhão como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel sob orientação do Prof. Dr. Carlos Henrique Rodrigues Oliveira.

SÃO LUÍS - MA

2021

Barroso, Lucas Diógenes Pinheiro.

Predição de cobertura de radiofrequência (RF) para o sistema de telefonia móvel celular 5g com ondas milimétricas / Lucas Diógenes Pinheiro Barroso. – São Luís, 2021.

65 f

TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira.

1.5g. 2.Ondas milimétricas. 3.Predição de cobertura. 4.Radio mobile. 5.Área de cobertura. I.Título.

CDU: 621.396.44

LUCAS DIÓGENES PINHEIRO BARROSO

**PREDIÇÃO DE COBERTURA DE RÁDIO FREQUÊNCIA (RF) PARA O SISTEMA
DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR 5G COM ONDAS MILIMÉTRICAS**

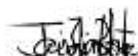
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Estadual do Maranhão, como registro para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Trabalho aprovado. São Luís – MA, 12 de Março de 2021.



Prof. Dr. Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira

Orientador



Prof. MSc. Jairon Viana Batista

Primeiro membro



Prof. MSc. Naydson Emmerson Sousa Pereira do Lago

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais por investirem tempo e dinheiro na minha educação além de me dar apoio em toda a minha caminhada durante o curso em conquistar mais um passo da minha vida. Principalmente meu pai Edilberg Barroso que me incentivou a fazer o curso. Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Carlos Henrique pelo incentivo e pela dedicação do seu tempo por aceitar a conduzir o meu projeto de TCC além de todo auxílio em ter me dado assistência ao projeto, na qual sempre esteve disposto em ajudar em qualquer dúvida que tivesse no decorrer do trabalho, atingindo novos patamares. Agradeço a Philipe Manoel e Ana Paula que me ajudaram com o trabalho e grato aos meus colegas de turma na qual convivi bons momentos.

RESUMO

A área de telecomunicação está em constante evolução, buscando sempre novas formas de comunicação de preferência cada vez com taxas de dados mais velozes e com baixas latências. Através disso, o surgimento do 5G promete trazer essas características com a utilização das ondas milimétricas com elevadas frequências. Dessa forma, o trabalho desenvolvido tem como objetivo realizar a predição de cobertura para sistema de telefonia móvel de radiofrequência na região de São Luís, aplicando os conceitos das ondas milimétricas com o emprego da ferramenta gratuita *Radio Mobile* que utiliza o modelo de propagação de *Longley-Rice*. Desse modo, foi feita uma comparação de *downlink* e *uplink* entre duas redes de comunicação, uma de 3,5 GHz e outra de 26 GHz. Com resultados de porcentagem de área de cobertura no *downlink* de 93,72 % e 91,6 % e *uplink* de 90,5 % e 90,49 % nas frequências mencionadas respectivamente. Mesmo um *link budget* balanceado nas redes, houve uma divergência entre o *downlink* e *uplink*, pois foram necessário números de ERBs diferentes para cobrir pelo menos 90 % de área geográfica da região estudada. Portanto, obteve-se sucesso a alcançar objetivos mostrados no trabalho, apesar das dificuldades com as obstruções e baixo alcance que as ondas milimétricas podem oferecer.

Palavras-chave: 5G; Ondas milimétricas; Predição de cobertura; *Radio Mobile*; Área de cobertura.

ABSTRACT

The telecommunication area is constantly evolving, always looking for new forms of communication, preferably with faster data rates and low latencies. Through this, the emergence of 5G promises to bring these characteristics with the use of millimeter waves with high frequencies. In this way, the work developed aims to make the coverage prediction for the radio frequency mobile phone system in the São Luís region, applying the concepts of millimeter waves with the use of the free tool Radio Mobile that uses the propagation model of Longley-Rice. In this way, a comparison of downlink and uplink was made between two communication networks, 3,5 GHz, and the other 26 GHz. With results of percentage coverage area in the downlink of 93.72 % and 91.6 % and uplink of 90.5 % and 90.49 % on the frequencies mentioned, respectively. Even a balanced link Budget in the networks, there was a divergence between the downlink and uplink, since different ERB numbers were needed to cover more than 90 % of the covered area of the studied region. Therefore, it was successful to achieve the objectives shown in the work, despite the difficulties with the interferences and the low range that millimeter waves can offer.

Keywords: 5G; Millimeter waves; Coverage prediction; Radio Mobile; Coverage area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de dispositivos em bilhões	1
Figura 2: Demanda global de dados em Zetabytes por ano	2
Figura 3: Processo de Refração	7
Figura 4: Processo de Reflexão	8
Figura 5: Processo de Difração.....	9
Figura 6: Processo de Espelhamento	10
Figura 7: Sinal de propagação	11
Figura 8: Atenuação atmosférica	17
Figura 9: Atenuação de chuva	18
Figura 10: Capacidade entre as tecnologias móveis	20
Figura 11: Área demarcada de São Luís	22
Figura 12: Parâmetros da rede 3,5 GHz	25
Figura 13: Parâmetros da rede 26 GHz	26
Figura 14: Topologia	27
Figura 15: Unidade de propriedades	28
Figura 16: Membros da rede	29
Figura 17: Sistema gNB	30
Figura 18: Sistema smartphone	31
Figura 19: Estilo	32
Figura 20: Cobertura de rádio cartesiana combinada	33
Figura 21: Predição de cobertura de 3,5 GHz <i>downlink</i>	34
Figura 22: APs da rede 3,5 GHz <i>downlink</i>	34
Figura 23: Predição de cobertura de 3,5 GHz <i>uplink</i>	35
Figura 24: APs da rede 3,5 GHz <i>uplink</i>	35

Figura 25: Predição de cobertura de 26 GHz <i>downlink</i>	36
Figura 26: APs da rede 26 GHz <i>downlink</i>	36
Figura 27: Predição de cobertura de 26 GHz <i>uplink</i>	37
Figura 28: APs da rede 3,5 GHz <i>uplink</i>	37
Figura 29: Enlace <i>downlink</i> 3,5 GHz	38
Figura 30: Enlace <i>downlink</i> 26 GHz	39
Figura A - 1: Tela inicial para instalação do Radio Mobile	46
Figura A - 2: Tela para <i>download</i> do <i>Radio mobile</i>	46
Figura A - 3: Tela de <i>download</i> do <i>Radio mobile</i>	48
Figura A - 4: Processo de instalação do <i>Radio mobile</i>	49
Figura A - 5: Ateração do Map_link	50
Figura A - 6: Configuração do SRTM.....	51
Figura A - 7: Configuração do Land cover.....	52
Figura A - 8: Configuração completa do <i>Radio mobile</i>	52

LISTA DE QUARDOS

Quadro 1: Parâmetros do Sistema	13
Quadro 2: Refratividade em cada clima.	14
Quadro 3: Irregularidade do terreno.	14
Quadro 4: Constantes elétricas do solo	15
Quadro 5: Configurações <i>downlink</i> e <i>uplink</i>	23
Quadro 6: Configuração no <i>Radio Mobile</i>	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Δh	Variação de altura
1G	<i>1st Generation</i>
2G	<i>2nd Generation</i>
2,5 G	Segunda geração e meia
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	<i>4th Generation</i>
5G	<i>5th Generation</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AP	<i>Access point</i>
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
CPE	<i>Customer-Premises Equipment</i>
dB	Decibel
EDGE	<i>Enhanced Data Rate for GSM Evolution</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency</i>
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>
ERB	Estação rádio base
Gbps	<i>Gigabits por segundo</i>
GHz	<i>Gigahertz</i>
gNB	<i>Generation Node B</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	<i>Internet of Things - Internet das Coisas</i>
ITM	<i>Irregular Terrain Mode</i>
Km	Quilômetro
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
Mbps	<i>Megabits por Segundo</i>
MHz	<i>Megahertz</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>

OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiple Access</i>
PEIRP	<i>Peak Effective Isotropic Radiated Power</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
R99	<i>Release-99</i>
RF	<i>Radiofrequência</i>
RM	<i>Radio Mobile</i>
SHF	<i>Super High Frequency</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography</i>
TDD	<i>Time division duplex</i>
TWDP	<i>Two Wave with Diffusal Power</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System)</i>
UE	<i>User Experience</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
W	<i>Watts</i>

SUMÁRIO

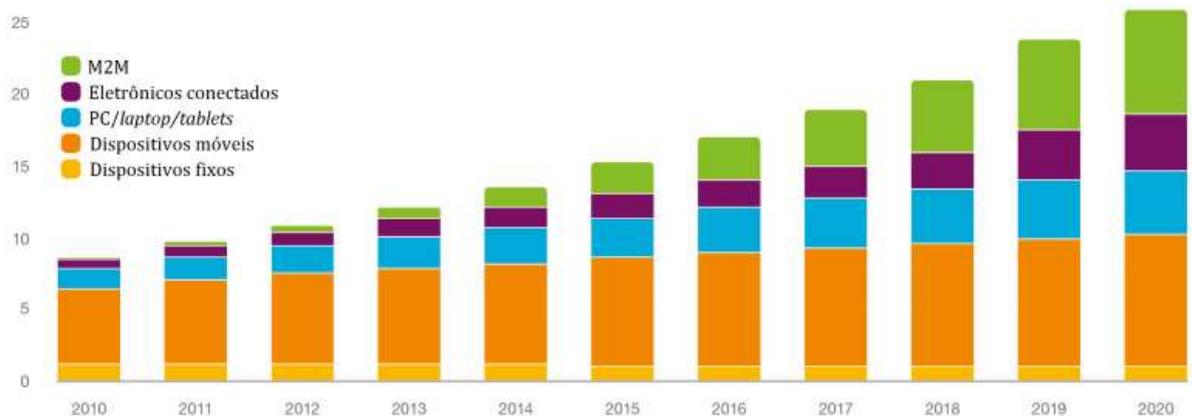
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Metodologia	3
1.3. Estrutura do documento	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. Propagação	5
2.1.1. Mecanismos de propagação	5
2.1.2. Espaço livre.....	5
2.1.3. Refração	7
2.1.4. Reflexão	8
2.1.5. Difração.....	9
2.1.6. Espelhamento/ Dispersão.....	9
2.2. Desvanecimento	10
2.2.1. Desvanecimento em pequena escala	12
2.2.2. Desvanecimento em larga escala	12
2.3. Modelo de propagação	12
2.3.1. Modelo de propagação <i>Longley-Rice</i>	12
2.4. Ondas Milimétricas	15
2.4.1. Características das ondas milimétricas.....	15
2.4.2. Propriedades das ondas milimétricas	16
2.5. 5G	18
3. DESENVOLVIMENTO	21
3.1. Configuração do <i>software Radio Mobile</i>	21
3.2. Configuração do <i>link</i>	23
3.3. Predição de cobertura.....	32
4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5. TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS	43
Apêndice A – Instalação do <i>Radio Mobile</i>	46

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos habitantes do mundo já possui acesso à telefonia móvel [1]. Em meio ao avanço das atuais tecnologias para utilização das redes em 5G (*5th Generation*), é importante otimizar o tráfego nas redes celulares. O uso dessas tecnologias propõe oferecer qualidade de serviço a todos os usuários conectados na rede.

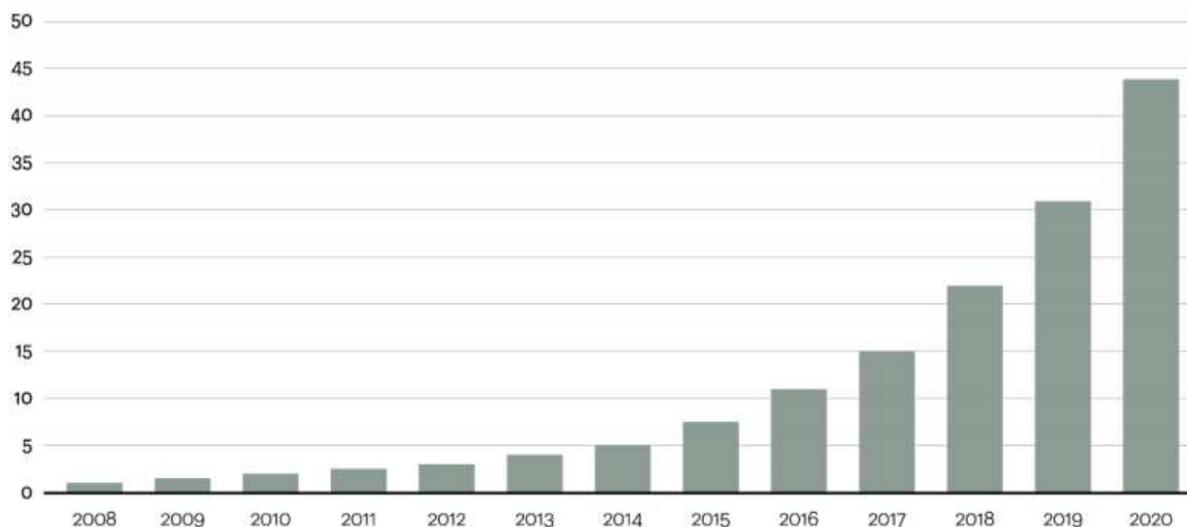
No cenário atual, as novas tecnologias são árduas de implementar porque não têm espaço no espectro. A solução mais viável aplicada à nova tecnologia é operar em uma nova faixa de frequência. No entanto, as pessoas esperam que o número de dispositivos continue a crescer a uma taxa acelerada nos próximos anos. Na Figura 1 é mostrado o crescimento constante dos números de dispositivos por ano, com o crescimento da tecnologia M2M (*Machine to Machine*) possibilitando as conexões necessárias para o funcionamento da *IoT* (*Internet of Things* - Internet das Coisas).

Figura 1. Número de dispositivos em bilhões [2]



Com essa demanda o mercado de telecomunicações está em constante desenvolvimento, adaptando-se a estas mudanças por meio de novas tecnologias permitindo cada vez mais dados em uma faixa de frequência estabelecida, melhorando a eficiência espectral. Como amostra disso, tem-se a aplicação da MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) onde possui uma esquematização de rádio cognitivo, realizando compartilhamento de espectro em momentos de ociosidade. Através disso, com mais dispositivos conectados na rede haverá um aumento exponencial de fluxo de dados como é representado na Figura 2. Onde a tecnologia 4G (*4th Generation*) não irá suprir a demanda colocada [2].

Figura 2. Demanda global de dados em Zetabytes por ano [2]



A tecnologia 5G não terá preocupação de aumento de conexão, pois trabalha com altas capacidades de dados como *Big Data*. É ela que fará, por exemplo, o funcionamento da *Internet of Things* ao possibilitar um alto crescimento de número de conexões simultâneas junto com redução da latência para controle de dados com melhor eficiência espectral e com menor custo de energia.

Com a falta de espectros de frequência abaixo de 10 GHz, segundo [3], [4] e [5], na qual utiliza frequências *Gigahertz* (GHz) para a banda do sinal, com o uso das faixas de comprimento de ondas centimétricas SHF (*Super High Frequency* – de 3 a 30 GHz¹) e de comprimento de ondas milimétricas EHF (*Extremely High Frequency* – 30 a 300 GHz¹) obtendo uma transmissão de dados elevada. Para a utilização de ondas milimétricas, ainda requer bastante estudos de seu funcionamento prático e teórico, para criação de novos equipamentos (como as estações rádio base – ERBs, aparelhos celulares *smartphones*, roteadores, switches e antenas) em infraestrutura das redes e como o sinal se propaga dado as características do meio.

Através desses pontos, é fundamental para projetos de rede de comunicação dos rádios planejamento de cobertura de radiofrequência, na qual dependem de um ótimo *link* de transmissão [2].

Para fazer as previsões de cobertura de propagação, empresas empregam *softwares* mais complexos e capacitados como o *CelPlanner*. Contudo, existe o software *Radio Mobile* que é

¹<https://www.teleco.com.br/spectro.aspx> 17/02

disponível de forma gratuita, onde possui uma alta confiabilidade na predição de radiopropagação, com uma interface amigável de fácil uso de manuseio, além de promover uma área de cobertura considerando perdas no caminho da propagação, entre outras características.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

A proposta do projeto tem como objetivo simular, analisar e comparar possíveis cenários de predição de cobertura de radiofrequência (RF) para o sistema de telefonia móvel celular aplicando o conceito 5G com ondas milimétricas (frequência de 26 GHz), utilizando modelagem computacional (ferramenta *Radio Mobile*) para fazer as predições de cobertura de propagação na região do município São Luís do Maranhão.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar predição de cobertura de radiofrequência para sistema de telefonia móvel 5G com ondas milimétricas;
- Desenvolver os conceitos da propagação;
- Analisar os resultados produzidos no *software Radio Mobile*;
- Fazer uma comparação entre as frequências 3,5 GHz e 26 GHz além de verificar a viabilidade para tais frequências;
- Realizar o cálculo de porcentagem de área coberta de no mínimo 90 % após utilizar o *Radio Mobile* (RM) para a obtenção de confiabilidade da predição.

1.2. Metodologia

A metodologia aplicada ao projeto é uma pesquisa descritiva e prática, em que detém o propósito de realizar um estudo de caso sobre a predição de cobertura de rádio para sistema celular 5G, visto que serão analisadas as informações conforme as ondas milimétricas. Será feito um desenvolvimento do projeto no software *Radio Mobile* através de duas frequências distintas (3,5 GHz e 26 GHz) e um estudo sobre o funcionamento das ondas milimétricas, com a finalidade de fazer uma comparação acerca das duas redes estudadas, analisando a predição de cobertura na região de São Luís - MA (local escolhido para fazer o estudo do trabalho) dado os posicionamentos das ERBs para cada frequência. Por fim, irá calcular a quantidade de área coberta da localidade de ambas as redes com o intuito de obter no mínimo de 90 % de área coberta [6].

1.3. Estrutura do documento

Esta monografia está estruturada da forma como segue. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica que apresenta as concepções básicas de radiopropagação. Esses conceitos serão necessários para o entendimento das propriedades e características das ondas milimétricas. Além disso discorrer sobre a tecnologia 5G junto com o funcionamento do *Radio Mobile*.

O capítulo 3 apresenta a desenvolvimento do trabalho onde é mostrada a predição de cobertura baseado no *Radio Mobile*. Ademais, o cálculo de porcentagem da área coberta para análise.

No capítulo 4 são apresentadas as conclusões e as considerações finais com base no estudo desenvolvido, mostrando se os resultados foram ou não satisfatórios com base nos objetivos.

Por fim o capítulo 5 apresenta sugestões para futuros trabalhos. Além de um apêndice explicando a instalação do *Radio Mobile*.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Propagação

As ondas de rádio são radiações eletromagnéticas que se propagam pela atmosfera terrestre de um transmissor para um receptor. O sinal transmitido sofre várias interferências em decorrência das características morfológicas do terreno, tais como, encostas íngremes ou acidentadas, além da cobertura da superfície que irá afetar a propagação das ondas. Regiões com muita edifícios ou vegetação contribuem de forma significativa para um desvanecimento acentuado no sinal propagado [7].

O estudo adequado da propagação do sinal radiado no canal rádio móvel, fornecerá uma maior compreensão de como as perdas na potência do sinal ocorrem no decorrer da transmissão. Esses estudos, fornecem dados que ajudam no dimensionamento de parâmetros que combatem o desvanecimento do sinal, fruto do multipercurso em sistemas de banda larga como por exemplo, sistemas de telefonia móvel de 4 G e 5 G [8].

2.1.1. Mecanismos de propagação

O mecanismo de propagação é um meio de transmissão de sinais, que podem atingir um raio de propagação específico, dependendo da distância que se deseja alcançar, do ambiente envolvido e da frequência utilizada [9]. Entende-se por mecanismo de propagação o modo através do qual a energia radiada pela antena transmissora atinge a antena receptora². Reflexão, dispersão, refração e a difração no meio de propagação dentro desses mecanismos.

2.1.2. Espaço livre

A propagação em espaço livre [10] “é realizada em vácuo ou ambiente ideal sem qualquer interferência ou fontes de interferência para receber sinais livremente”. O modelo de radiação em espaço livre ocorre em linha visada (sem obstrução no meio do percurso através do transmissor e do receptor).

Com isso, nesse modelo terá apenas uma única perda de caminho (*Path loss*) dentro do sistema, sendo a diferença do sinal de atenuação a uma determinada distância d entre o receptor

² ASSIS, Mauro S.. **INTRODUÇÃO À PROPAGAÇÃO DAS ONDAS RADIOELÉTRICAS**. 2012. Disponível em: http://www.iecom.org.br/encom_2012/Introducao_a_Propagacao.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

e transmissor, ocorrendo um decréscimo de potência radiada. Calculado pela *equação de Friis* – segundo a Equação 1 [9],

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1).$$

Sendo:

P_r : Potência de recepção em Watts [W];

P_t : Potência de transmissão em Watts [W];

λ : Comprimento de onda em metros [m];

d : Distância entre transmissor e receptor;

L : Fator de perda do sistema em relação a propagação ($L \geq 1$);

G_t : Ganho da antena de transmissão;

G_r : Ganho da antena de recepção.

Segundo a equação (1), a potência de recepção é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o receptor e transmissor e o quadrado da frequência emitida.

Simplificando a equação para decibel [dB], tem-se [7]:

$$P_r (dB) = P_t (dB) + G_r (dB) + G_t (dB) - A_p (dB) \quad (2).$$

De acordo com [10], “a atenuação no meio propagante em espaço livre é dada por”

$$A_p (dB) = A_0 (dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 92,4 \quad (3).$$

Sendo:

f : Frequência da portadora em GHz;

d : Distância entre as antenas em quilômetros [Km].

A EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*), potência isotrópica efetivamente radiada, mostrada na Equação 4, é a potência que uma antena isotrópica deve radiar para atingir o mesmo nível de sinal no sentido da radiação máxima da antena [7].

$$EIRP (dBm) = P_t + G_t - P_{cct} \quad (4).$$

Sendo:

P_{cct} : A perda de conectores e cabos de transmissão (dB).

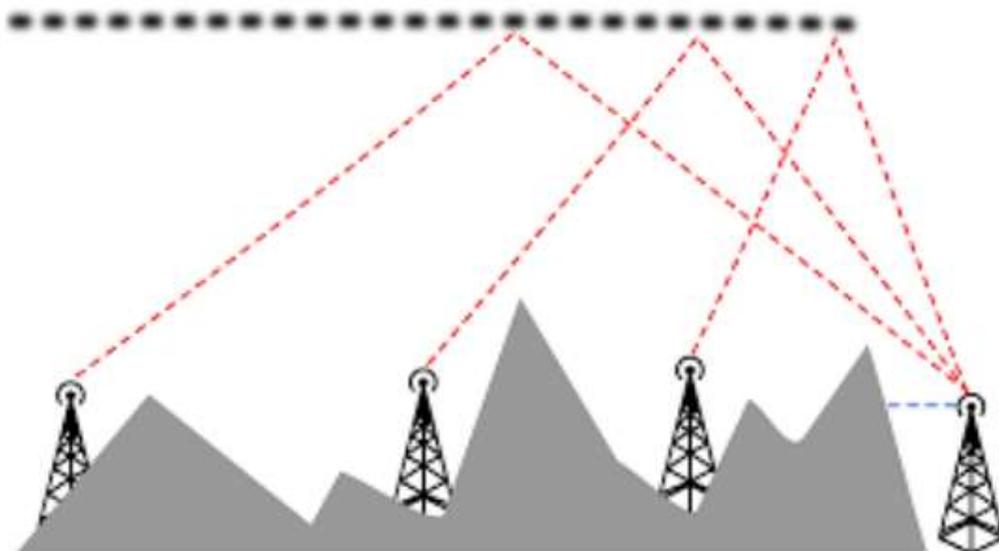
A propagação de ondas em ambientes terrestres (sem a aplicação de satélites) adequa-se a dois conjuntos de *links* principais, enlace com difração e visibilidade direta. A difração é comumente usada para bandas de frequência mais baixa, na qual tem-se a VHF (*Very High Frequency* – de 30 a 300 MHz³) e UHF (*Ultra High Frequency* – de 300 a 3000 MHz²). O *link* direto é consumido para bandas de frequência mais elevadas como SHF e EHF.

2.1.3. Refração

A refração é um evento óptico na qual o feixe de onda entra em um meio com características de densidade diferente, alterando assim a orientação da propagação⁴. No caso da radiopropagação que usam ondas eletromagnéticas, são refratadas pela atmosfera, pois existem ondas de velocidades com pequenas variações.

Além desse evento da natureza, uma parte da onda possui um desvio para outra direção e parte é refletida, como exibido na Figura 3. Esse processo se torna fundamental em redes de longo alcance pois o sinal permite comunicação onde não há linha de visada entre os equipamentos de transmissão e recepção chamado (sem linha de visada) [2].

Figura 3. Processo de Refração [2]



³ TELECO. **Espectro de frequências**. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/spectro.asp>. Acesso em: 17 fev. 2021.

⁴ SOFISICA. **Refração de ondas**. Disponível em:

<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatória/Ondas/refracao.php#:~:text=É%20o%20fenômeno%20que%20ocorre,de%20onda%20podem%20se%20modificar..> Acesso em: 18 fev. 2021.

2.1.4. Reflexão

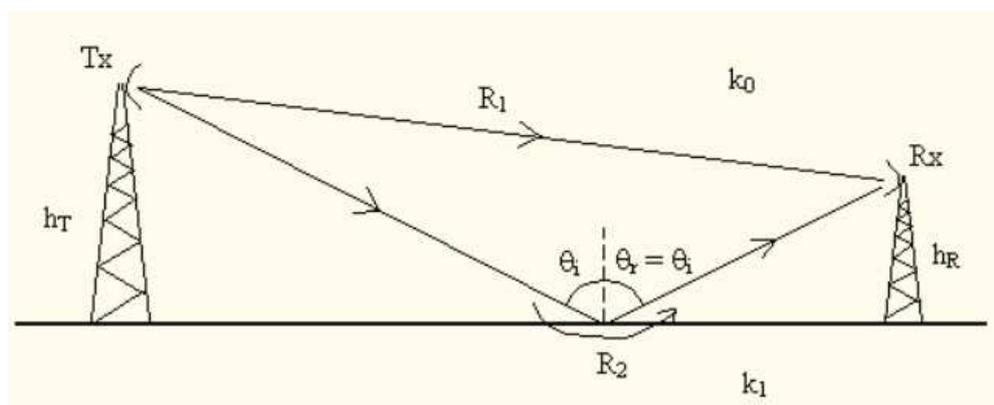
A reflexão é um evento da natureza onde a onda colide sobre um obstáculo de densidade distinta e retorna ao meio de propagação mantendo as características da onda incidente⁵. Além desse processo, parte da energia é absorvida pelo obstáculo e parte pode penetrar a superfície, podendo também refratar-se ao meio de propagação.

O grau de reflexão do meio depende da frequência da onda de radiação, da polarização da onda, do ângulo de incidência e das particularidades do material [9]. Nas ondas de rádio, a polarização será dada pelo campo elétrico sob a superfície onde também irá ter interferência [2].

Quando os sinais de radiofrequência colidem sobre os objetos tal como paredes e prédios com amplas dimensões, os comprimentos de ondas da reflexão são proporcionais à frequência. Com a utilização de frequências elevadas como as ondas milimétricas, há uma baixíssima penetração, além do sinal é absorvido e refletido na superfície [2].

Na Figura 4 mostra o funcionamento do processo de reflexão incidido em cima da superfície do plano, na qual é um sistema onde a propagação da onda não utiliza a ionosfera para a reflexão. Pode-se chegar a quilômetros de distância lidando com o modelo plano-terra na qual irá desprezar a inflexão da terra.

Figura 4. Processo de Reflexão⁶



⁵ SOFISICA. **Reflexão de ondas**. Disponível em:

<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatória/Ondas/reflexao.php#:~:text=%C3%89%20o%20fen%C3%B4meno%20que%20ocorre,propagando-se%20no%20mesmo%20meio..> Acesso em: 18 fev. 2021.

⁶RODRIGUES, Marcio Eduardo da Costa. **ASPECTOS DE RÁDIO - PROPAGAÇÃO**. Disponível em: http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/marcio_rodrigues/propagacao/prop_02.html. Acesso em: 18 fev. 2021.

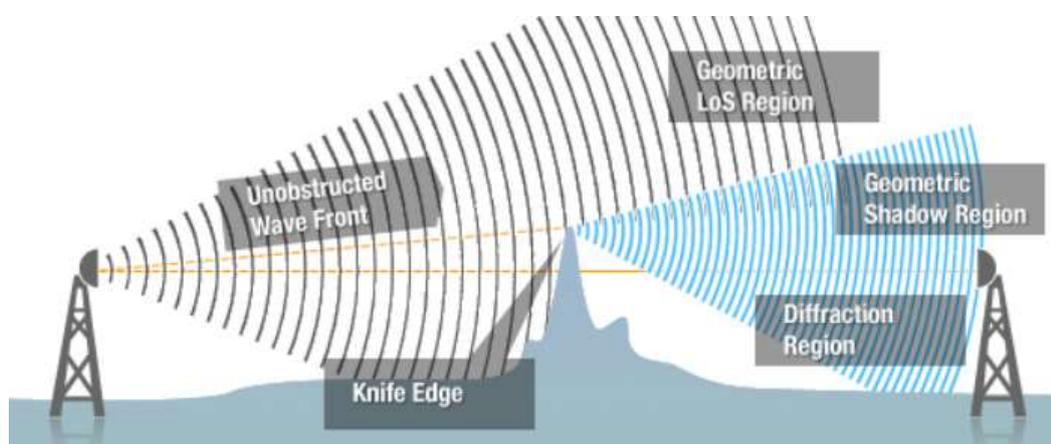
2.1.5. Difração

Segundo [9] “a difração deixa que os sinais de rádio viajem perto da superfície curva da Terra, depois do horizonte e atrás de obstáculos”. Apesar da intensidade do campo recebido diminuir velozmente conforme o receptor se locomove na área de obstáculo (sombra), o espaço de difração ainda existe e comumente é forte o bastante para se observar um sinal detectável”.

Explicada pela regra de *Huygens* que revela o funcionamento das ondas conseguirem atravessar estrutura ao longo do caminho, gerando ondas secundárias em pontos de abertura em obstáculos.

Como representado na Figura 5, o meio de propagação foi obstruído por uma pequena colina, surgindo uma onda secundária de difração, gerando uma zona de sombreamento, onde não tem linha de visada, mas podendo chegar através de reflexão por exemplo (com uma baixa potência). Sendo a difração inversamente proporcional à frequência, tendo mais difrações em baixas frequências.

Figura 5. Processo de Difração⁷



2.1.6. Espelhamento/ Dispersão

O funcionamento do espelhamento acontece quando o sinal incide em um obstáculo com dimensionamentos pequenos comparados ao comprimento de onda do rádio ou quando o ambiente possui uma grande quantidade de obstáculos como, por exemplo, uma floresta onde causa bastante interferências [2].

⁷ FRESNEL, Vùng. **VÙNG FRESNEL**. Disponível em: <https://vientin.com/blog/vung-fresnel-28-209>. Acesso em: 18 fev. 2021.

Como exposto na

, uma dispersão de raios refletidos para qualquer sentido afeta principalmente sistemas de onda milimétricas que requer altas frequências reduzindo fortemente a qualidade do sinal enviado para o meio, pois os materiais encontrados são ásperos.

A aspereza dos materiais é utilizada no preceito de *Rayleigh*. Nesse critério se determina a altura para o relevo da região sobre ao ângulo de incidência [8].

Figura 6. Processo de Espelhamento [2]



As ondas geradas pela dispersão pretendem se fundir ao chegar ao receptor, atribuindo potências diferentes dependendo do caminho da onda, fazendo com que a energia que foi propagada aumente [8].

2.2. Desvanecimento

Com o efeito do multipercurso, o sinal que chega no receptor pode não haver uma comunicação. O desvanecimento como conhecido em inglês *fading*, é um parâmetro importante em um projeto de rede móvel, pois fornece ganho ou sensibilidade suficiente para se adaptar a uma certa quantidade de desvanecimento⁸.

Servindo para obter uma taxa mínima de conexão acerca do transmissor e receptor junto com uma relação sinal-ruído satisfatória para manter a comunicação em funcionamento. Caso contrário, um pequeno sinal de desvanecimento poderá cair⁷ a ligação do móvel.

⁸ PACHECO, Webes. **LINK BUDGET**. Disponível em: www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/webes/link_budget_13.html. Acesso em: 19 fev. 2021.

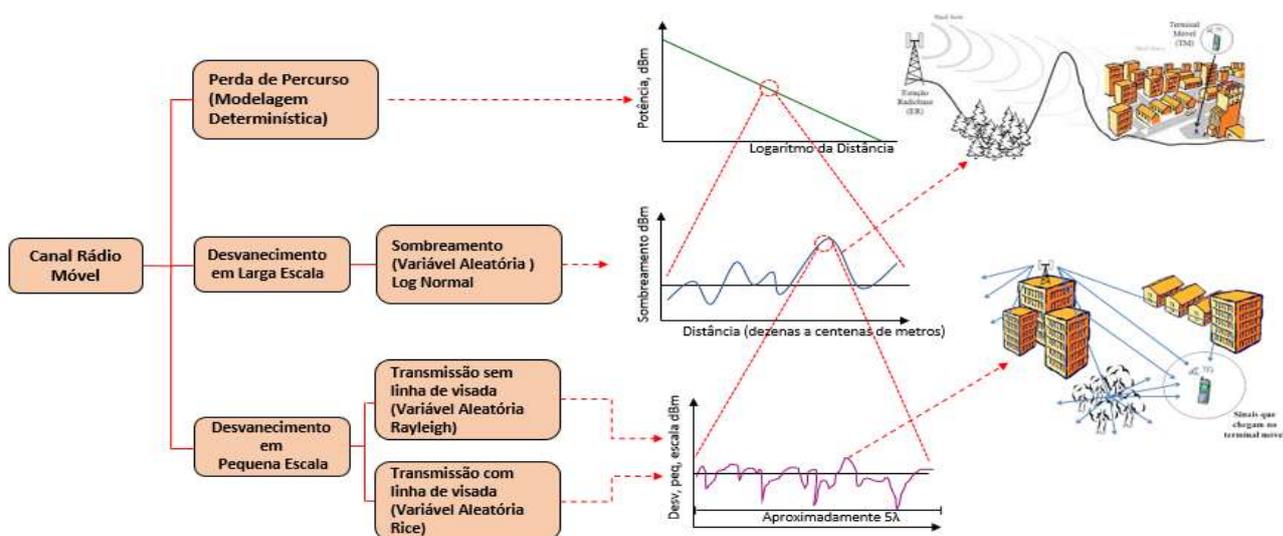
A margem de desvanecimento está no cálculo de *link budget* (cálculo final de potência ao longo do percurso do transmissor e receptor) para prever a máxima perda de propagação (*path loss*) e o limite de cobertura⁷.

Além disso, a potência do sinal transmitido que chega no receptor, varia com o tempo por conta dos aspectos morfológicos, as características do ambiente e a frequência utilizada. O que permite que se tenha dois tipos de desvanecimentos: um em pequena escala e outro em larga escala [2].

Na Figura 7 é apresentado as características do desvanecimento e encontra-se três componentes em um sinal de propagação. Na larga escala contém o sombreamento (*Shadowing* ou *Slow Fading*) e a perda de percurso (*path loss*), possuindo longas distâncias e com poucas variações.

Na pequena escala tem-se desvanecimento por múltiplos percurso ou desvanecimento rápido (*Fast Fading*), onde possui uma grande variação de fases do rádio e amplitude ao longo de todo o caminho. Neste último caso é utilizada a distribuição do modelo *Rayleigh* (usada sem linha de visada acerca do receptor e transmissor) e de *Rice* (usada em linha de visada acerca do receptor e transmissor) [2].

Figura 7. Sinal de propagação⁹



⁹ NOGUEIRA, Sandra Eloi Ferreira. **Aplicação de Redes Neurais na Identificação de Multipercursos para Obtenção de Parâmetros de Dispersão Temporal**, 2019. 52 slides.

Existe um modelo de desvanecimento chamado de TWDP (*Two Wave with Diffusal Power*) que visa generalizar dos modelos de *Rayleigh* e de *Rice*. Produzidos por Wolf, Rappaport e Durgin [2].

2.2.1. Desvanecimento em pequena escala

Em pequena escala de desvanecimento, na qual possui rápidas flutuações, com altas amplitudes de sinal, tem como consequência o efeito do multipercurso. Através da utilização de aparelhos móveis que está em constante deslocamento, na qual recebe intensidades de potência variadas, com fases distintas além de diferentes ondas de propagação. Desta forma ocorre um fenômeno físico chamado efeito *Doppler* [2].

Nesse efeito, as alterações de posicionamento do aparelho móvel geram frequências de modulação aleatórias. Em caso das ondas milimétricas de altas frequências, esse fenômeno possui uma maior relevância se comparada aos rádios de baixa frequência, pois os deslocamentos do aparelho e dos comprimentos de ondas do sinal propagado possui maiores dimensões [2].

2.2.2. Desvanecimento em larga escala

A larga escala de desvanecimento ocorre em propagação em espaço livre, relatado no tópico 2.1.2, possui distâncias nas casas de dezenas, centenas e milhares de metros entre os equipamentos de recepção e transmissão [2].

2.3. Modelo de propagação

2.3.1. Modelo de propagação Longley-Rice

Descrever o procedimento de como será a propagação dentro de uma rede, é necessário utilizar modelos de rádio propagação, pois não tem como ter precisão de que maneira as ondas do ambiente e da propagação irá se portar ao longo do percurso [8].

Segundo [9], “o modelo de Longley-Rice funciona em duas diferentes maneiras. Quando um perfil de percurso de solo detalhado está em disposição, parâmetros de caminho específicos são capazes de ser prontamente definidos e essa previsão sendo conhecida de previsão ponto-a-ponto. De outra forma, se um perfil de caminho saudável puder ser usado, o modelo de Longley-Rice fornecerá técnicas para presumir parâmetros próprios. Esta previsão é conhecida de modo de área.”

O método de *Longley-Rice* não trabalha com comunicação de rádio com linha visada (ITM - *Irregular Terrain Mode*), desenvolvido para operar nas frequências de 20 MHz a 20 GHz. Neste método de predição é atento a chegada de potência recebida no receptor sem se preocupar com a definição do canal de comunicação. Além de ser apontado um modelo estatístico, as equações de *Maxwell* são utilizadas nos cálculos para uma proximidade de características físicas da realidade, obtendo cortes de sinais e elevações de potências do sinal receptor durante a comunicação [9].

O modelo já passou por várias atualizações, como a propagação em meios urbanos através de perdas adicionais (*additional loss*), gerando ruídos perto da antena de recepção, conhecido como fator urbano. Modelo amplamente utilizado em *softwares*, com o propósito de fazer uma predição de perda de percurso através da propagação de espaço livre em superfícies irregulares [9].

Segundo [9], “para um percurso específico de transmissão, o programa usa o índice de refração da superfície na frequência de transmissão, a permissividade do solo, a polarização, o comprimento do caminho, o clima, a altura da antena, a condutividade elétrica e o raio efetivo da terra como suas entradas”. Com isso o software utilizado “*Radio Mobile*” utiliza o modelo de predição de cobertura *Longley-Rice* e os parâmetros utilizados nos cálculos são apresentados nos quadros 1 a 4.

Quadro 1. Parâmetros do Sistema [11]

Frequência	Entre 20 MHz a 20 GHz
Distância	Entre 1 km a 2000 km
Altura da Antena	Entre 0,5 m a 3000 m
Polarização	horizontal ou vertical

Parâmetros ambientais são entradas do modelo de previsão, na qual tem-se o terreno irregular, a constante de aterramento elétrica, a refração da superfície (250 a 400 unidades N) e o clima (com 7 tipos diferentes). Existem parâmetros de implantação que possuem padrões posicionais (de forma aleatória, cuidadosa ou bastante cuidadosa) e parâmetros de estatística onde terá uma confiabilidade entre 0,1 % a 99,9 % [11].

Na refratividade, mostrados os valores na Quadro 2, são descritos por partes por milhão (pela unidade N) perto a superfície conforme o clima para prever a atmosfera, além da variação ao longo do período. Em atmosfera média, coloque com $N = 301$ de N-unidades para clima continental [11].

Quadro 2. Refratividade em cada clima [11]

	N-unidades
Equatorial (Congo)	360
Subtropical Continental (Sudão)	320
Subtropical Marítimo (Costa Leste da África)	370
Deserto (Saara)	280
Continental Temperado	301
Temperado Marítimo (Reino Unido e costas continentais oestes)	320
Temperatura marítima, sobre o mar	350

Na irregularidade do terreno é mostrada a variação das alturas Δh na Quadro 3. Em um terreno médio, utiliza-se $\Delta h = 90$ metros.

Quadro 3. Irregularidade do terreno [11]

	Δh (metros)
Água (ou sobre a água)	0
Planícies	30
Colinas	90
Montanhas	200
Montanhas escarpadas	500

A permissividade do solo e condutividade são apresentadas na Quadro 4. Sendo que para a maioria dos casos, utiliza-se a constante de solo médio.

Quadro 4. Constantes elétricas do solo [11]

	Condutividade (S/m)	Permissividade Relativa (F/m)
Terreno médio	0,005	15
Chão pobre	0,001	4
Bom Terreno	0,02	25
Água fresca	0,01	81
Água do mar	5,0	81

2.4. Ondas Milimétricas

2.4.1. Características das ondas milimétricas

As ondas eletromagnéticas milimétricas possuem comprimento de onda de 1 a 10 milímetros, tendo frequências ultra elevadas acima de 24 GHz. Com a constante busca de transmissão de dados cada vez mais rápido e com menos latência, o uso dessas ondas se torna fundamental na tecnologia 5G.

Com os avanços das tecnologias, os espectros de frequências atuais sofrem congestionamento por conta dos números de crescimento de aparelhos celulares que utilizam faixas de frequências de 300 MHz a 3 GHz. Com isso, espectros em ondas milimétricas entre 30 a 300 GHz é mais usado em radares e militares por exemplo. Desenvolvendo mais equipamentos e estudos para tais frequências com o propósito de um funcionamento cada vez mais eficiente ao lidar com as ondas milimétricas [2].

No atual cenário das telecomunicações, não existe comparação entre os espectros disponíveis das ondas milimétricas com sistema de rede de celulares ou locais sem fio (*wireless*) com frequências abaixo de 10 GHz. Como exemplo, os espectros disponibilizados das faixas não licenciadas de 900 MHz, 2,4 GHz e 5 GHz chega a ser de 10 a 100 vezes pior que os espectros licenciados de 60 GHz [2].

Com mais espectro disponível, com mais velocidade de comunicação e com baixas latências, a aplicação da Internet das coisas (*IoT - Internet of Things*) pode se tornar cada vez mais requisitado já que irá trabalhar com diversos equipamentos ao mesmo tempo, com rápidas

respostas. Além do melhor funcionamento do M2M, dos tratamentos de dados (*Big data*) e do crescimento das cidades inteligentes.

No cenário mundial, apenas alguns países começaram a licenciar frequências em ondas milimétricas. No caso do Brasil, segundo a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), “ANÁLISE Nº 132/2019/VA” no tópico 1 tem-se “(i) Edital de Licitação das faixas de 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz; (ii) atribuição, destinação e condições de uso da faixa de 26 GHz”. Irá ocorrer um leilão em 2021 para as frequências citadas. No caso das ondas milimétricas será o licenciamento de 26 GHz para o estabelecimento no Brasil¹⁰.

Depois da estabilidade dessa tecnologia no mundo será possível criar mais oportunidades de comunicação sem fio como, por exemplo, a utilização de bandas na casa de *Gigahertz*.

2.4.2. Propriedades das ondas milimétricas

Na técnica de desvanecimento desenvolvido no tópico 2.2, foi citado o modelo de sombreamento. Na qual o objeto fica no meio do caminho entre o receptor e transmissor gerando uma “sombra”. Sendo que para comprimentos de ondas milimétricas, esse fenômeno se torna recorrente, já que não possui um enlace de linha de visada entre transmissor e receptor, afetando assim, todo o sistema. Enquanto o efeito de espelhamento e reflexão permite uma conexão, mesmo sem ter linha de visada entre os equipamentos de comunicação. Além desse fenômeno, a difração se torna quase ineficiente para as ondas milimétricas se comparado a redes de baixas frequências onde tem uma grande eficiência.

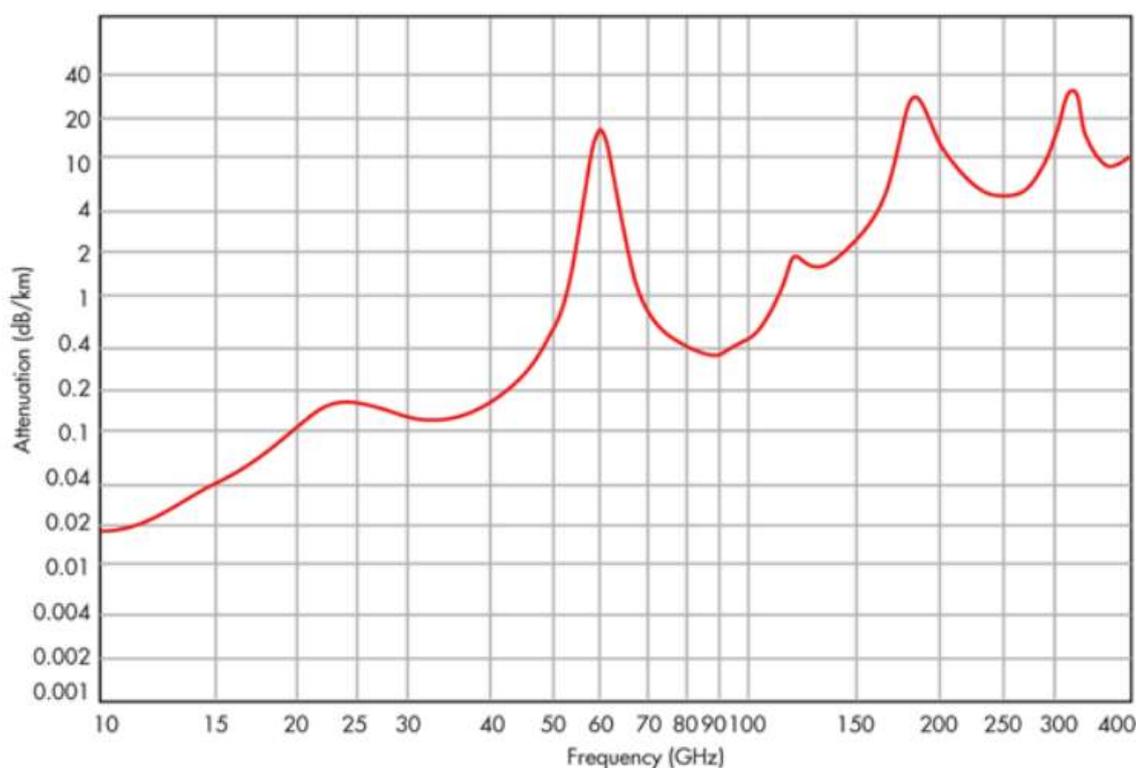
Dessa maneira, apenas os efeitos de reflexão e de espelhamento terá relevância em sistema que utilizam ondas milimétricas, na medida que o sombreamento e a difração são mais fracos para essa faixa de frequências. Portanto, terá que reestruturar os enlaces de rede e a camada física para as frequências altas dado que o atual cenário continua sendo em redes de frequências menores que 10 GHz [3].

¹⁰ ANATEL. **ANÁLISE Nº 132/2019/VA**. Disponível em: https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?eEP-wqk1skrd8hSik5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw_9INcO5m9CiqbZUjBWe1WHP_utgVyHm44nWRN4ht8S77wcKYBarcGpcCaThwfUcX5cYdaOiS42ld2l8jFtyJcrOavEP. Acesso em: 19 fev. 2021.

Com a introdução desse nível de onda, alguns aspectos tornaram mais pertinentes como a atmosfera. Pois com comprimento de ondas tão pequeno, as próprias moléculas de água da superfície já causam uma grande perda de potência ao longo do trajeto [3].

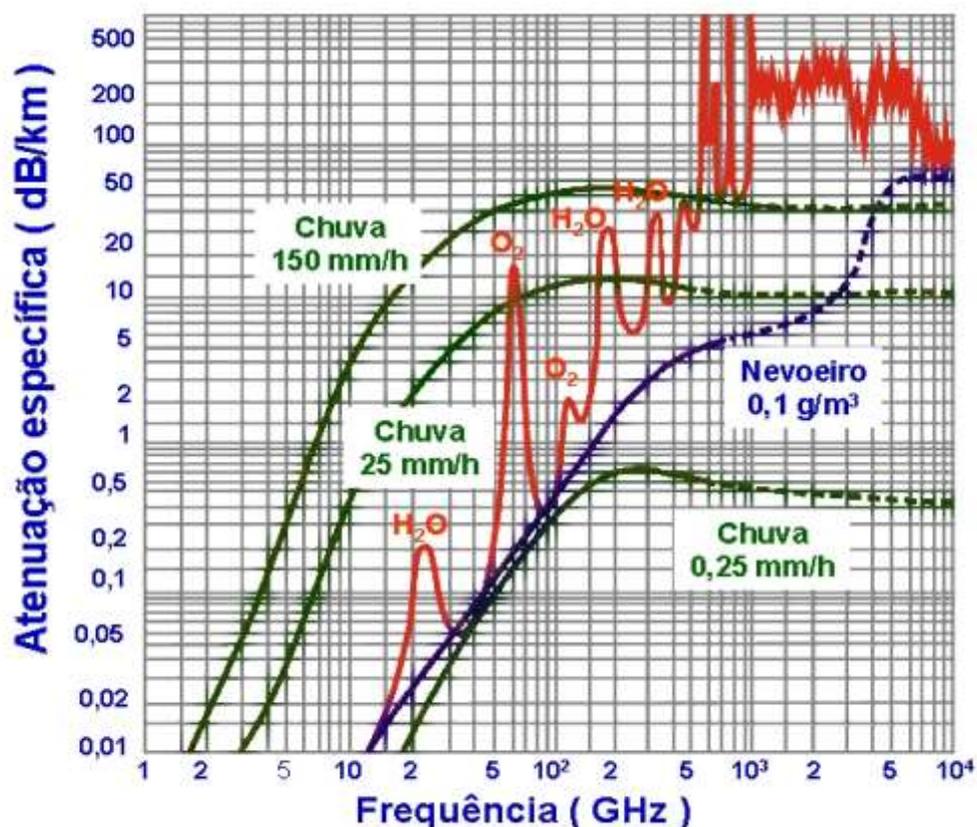
Segundo a Figura 8, verifica-se que frequências de pico como 60, 180 e 320 GHz, que apresentam altas atenuações, podem ser utilizadas em sistemas fechados com pouca distância de cobertura para se obter taxa de dados e velocidade altas. Algumas frequências como 33, 90 e 250 GHz, podem ser aproveitadas e usadas em rede externas com uma cobertura melhor, tendo atenuações menores.

Figura 8. Atenuação atmosférica [12]



É importante salientar que o clima atmosférico pode variar ao longo do tempo, causando interferências indesejada ao sistema. O clima se torna uma peça importante nesse aspecto dependendo da intensidade, pois sucede uma perda de potência gerando atenuações. Na Figura 9 é representado o papel da atenuação em decibel por quilômetro (dB/km) e frequência em *hertz* (Hz) sobre o nível de chuva dada em milímetro por hora (mm/h) e mostra que a atenuação específica é fortemente dependente da taxa de precipitação e cresce rapidamente com a frequência. Em enlaces terrestres extensos, ocorrem ainda outros efeitos tais como multipercurso atmosférico (em vermelho na Figura 9) [13].

Figura 9. Atenuação de chuva [13]



Uma forma de melhorar um sistema de ondas milimétricas é a utilização de antenas diretivas com alto poder de ganho. Utiliza-se do *beamforming* que foca em um feixe de radiação em um pequeno local estreito de forma direcionada ao equipamento que se torna útil, pois tem uma proteção de interferências de outras radiações de sinais. Com isso, tecnologias como MIMO ajudam a diminuir as perdas de sinal no decorrer do percurso, utilizando multiplexação espacial, trabalhando paralelamente no canal para melhorar a capacidade [2].

2.5. 5G

Os telefones analógicos começaram a ser usados na década de 1980 e classificados como 1G de primeira geração (*1st Generation*). Estes gradualmente substituídos pelo 2G (*2nd Generation*) de segunda geração utilizando tecnologia GSM (*Global System for Mobile Communications* - Sistema Global para Comunicações Móveis) com tecnologia digital. Esses métodos foram desenvolvidos para comunicação de voz, mas também podiam enviar pequenas

mensagens de texto (serviço SMS- *Short Message Service* - Serviço de mensagens curtas) entre dispositivos de rede [14].

O sistema 2G foi desenvolvido para permitir que os usuários acessassem a Internet de seus dispositivos. Foi quando surgiu o sistema 2,5 G (segunda geração e meia intermediário do 2G e do 3G). Nesse sistema, destacam-se o GPRS (*General Packet Radio Service* - Serviços Gerais de Pacote por Rádio) e o EDGE (*Enhanced Data Rate for GSM Evolution* - Taxas de Dados Ampliadas para a Evolução do GSM). No GPRS, a taxa teórica máxima de transmissão de dados do usuário chega a 140 kbps, enquanto no EDGE esta taxa chega a 384 kbps [14].

No entanto, a velocidade alcançada por esses sistemas é insuficiente para atender aos novos requisitos de comunicação. Em 1998, foi criado o 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), uma organização global de comunicação *wireless* que coopera para desenvolver padrões e especificações para tecnologia de rádio e arquitetura de serviço. Com o desenvolvimento das redes GPRS e EDGE, UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) foi apresentado na *Release-99* (R99) da 3GPP em 2000, para ser uma solução integrada para transmissão de voz e dados na telefonia 3G [15].

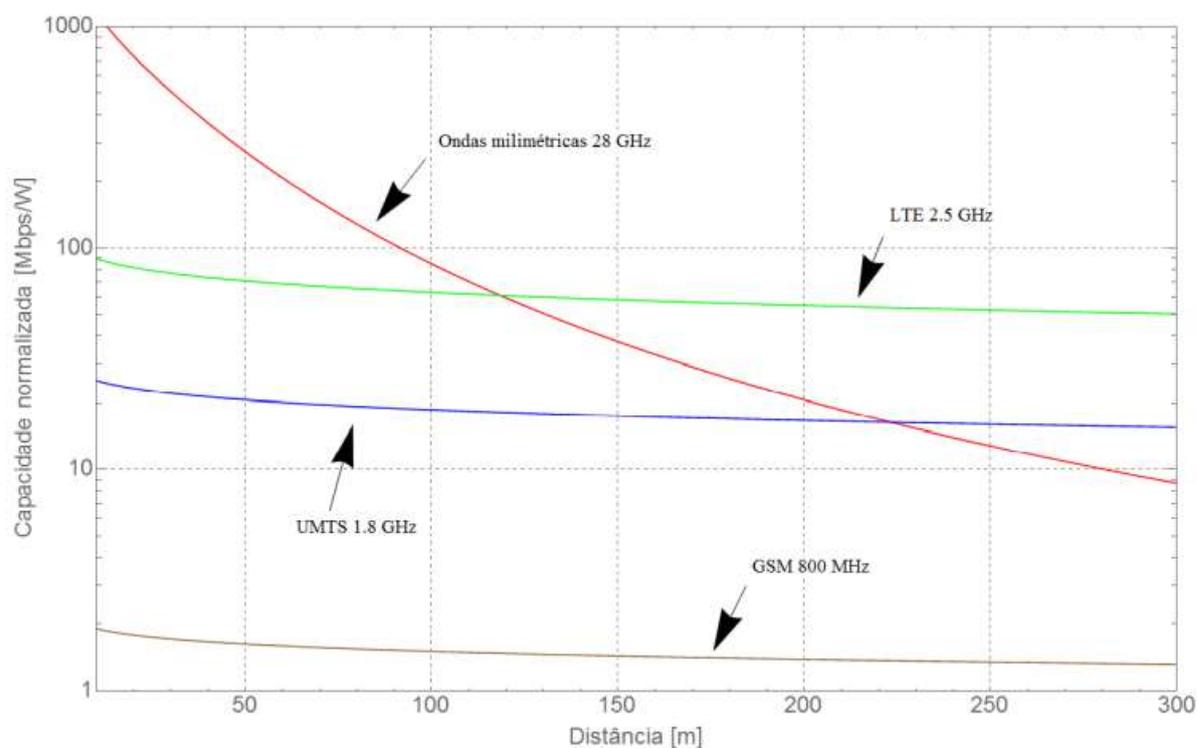
Tendo velocidade de 100 Mbps (*Megabits* por segundo), a tecnologia 4G (*4th Generation*) também conhecida como LTE (*Long Term Evolution*) surgida em 2010 e criada pelo 3GPP, foi a primeira a colocar em prática o OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiple Access*) como técnica de acesso, obtendo taxa teórica máxima de transmissão de dados superior a tecnologia 3G chegando a até 1 Gbps (*Gigabits* por segundo) além de latências menores e com maior segurança. Trabalha em frequências de até 6 GHz e foi projetado para características de propagação instáveis utilizando modulação adaptativa [15].

O 5G (quinta geração) é a tecnologia mais recente para telefonia móvel celular, que busca ser um aprimoramento e uma melhoria da atual geração (4G). Fornecendo transferência de dados sem fio acima de 1 Gbit/s, larguras de bandas na faixa de até 500 MHz, técnica de MIMO multiusuários (MU-MIMO), modulações QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), diminuição de tempo de latência (sendo quatro vezes menor que a 4G), utilização de beamforming (permitindo que a rede se adeque ao ambiente com otimização de tráfego) e velocidades de até 20 Gbps em ondas milimétricas de alta frequência de 24 GHz ou mais [16].

O gráfico da Figura 10 mostra uma comparação de capacidade em Mbps/W sobre a distância percorrida em metros, entre o 5G (através das ondas milimétricas) em 28 GHz, com a

tecnologia 4G LTE em 2,5 GHz, o UMTS em 1,8 GHz e o GSM em 800 MHz. Nota-se que as ondas milimétricas 5G possui grande vantagem em distâncias curtas, com altíssimas taxas de dados e a partir de 120 metros de distância a tecnologia LTE começa a ser superior que as ondas milimétricas por conta das elevadas interferências que sofre em redes de frequências elevadas [17].

Figura 10. Capacidade entre as tecnologias móveis [17]



Uma forma de melhorar as distâncias percorridas é com o emprego de antenas diretivas com uso de *beamforming* junto com a multiplexação espacial, uso de uma comunicação paralela com uso de MIMO. Com a aplicação de ondas milimétricas, o tamanho das células inclina a se tornar menor que as atuais tecnologias LTE, visto o tamanho da distância de apenas 120 metros. Por meio disso, é mais recomendado colocar essa tecnologia em ambientes fechados como casas e prédio dado o tamanho da distância, tendo potencial de alcançar taxas de dados elevados.

Alguns aparelhos móveis já estão sendo produzidos para tecnologia 5G através de chipsets como exemplo a *Samsung*, *Qualcomm*, *Huawei*, *MedioTek*. Além disso, cada vez mais

estudo está sendo feito para a utilização do 5G, como a fabricante *Rohde & Schwarz*, na qual esse trabalho irá usar dados proveniente da empresa¹¹.

3. DESENVOLVIMENTO

O objetivo do trabalho é fazer um estudo com base na predição de cobertura de radiofrequência (RF) para telefonia móvel celular 5G em ondas milimétricas, efetuando uma comparação entre *downlink* e *uplink* nas frequências de 26 GHz e 3,5 GHz em cobertura de sinal. Utilizando a modelagem computacional (ferramenta *Radio Mobile*) para fazer as predições de cobertura de sinal na região de São Luís (Maranhão).

3.1. Configuração do *software Radio Mobile*

O *Radio Mobile* é um programa de computador que simula propagações de ondas em radiofrequência (RF) de uma estação rádio base, repetidora ou outra rede de rádio utilizando bases de dados de relevo (elevação do solo) no formato SRTM (*Shuttle Radar Topography*) com extensão (HGT) baixadas automaticamente pelo software do site da Nasa¹² (*National Aeronautics and Space Administration*) e de morfologia (formas de ocupação do solo como tipos de vegetação, construções feitas pelo homem, água etc.) no formato *Land Cover* com extensão (LCV) baixadas automaticamente pelo *software* do site da ESA¹³ (*European Space Agency*) e vários parâmetros de rádio são levados em consideração para predizer a cobertura de uma rede de radiocomunicações [7].

O *Radio Mobile* opera nas faixas de 20 MHz a 20 GHz seguindo o modelo de propagação de *Longley-Rice* (ITM). Como o *software* aceita trabalhar com frequências até 99,999 GHz, o trabalho desenvolvido utilizará frequência de 26 GHz. Pode-se usar *softwares* pagos como o *CelPlanner* que utilizam bases de dados pagas com maior resolução em relação as bases gratuitas utilizadas pelo *Radio Mobile* [7].

¹¹ MECHAILEH, José Antonio. **Redes 5G: Tecnologia & Implantação**. Disponível em: <https://www.eldorado.org.br/blog/2020/04/13/redes-moveis-5g-tecnologia-implantacao/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

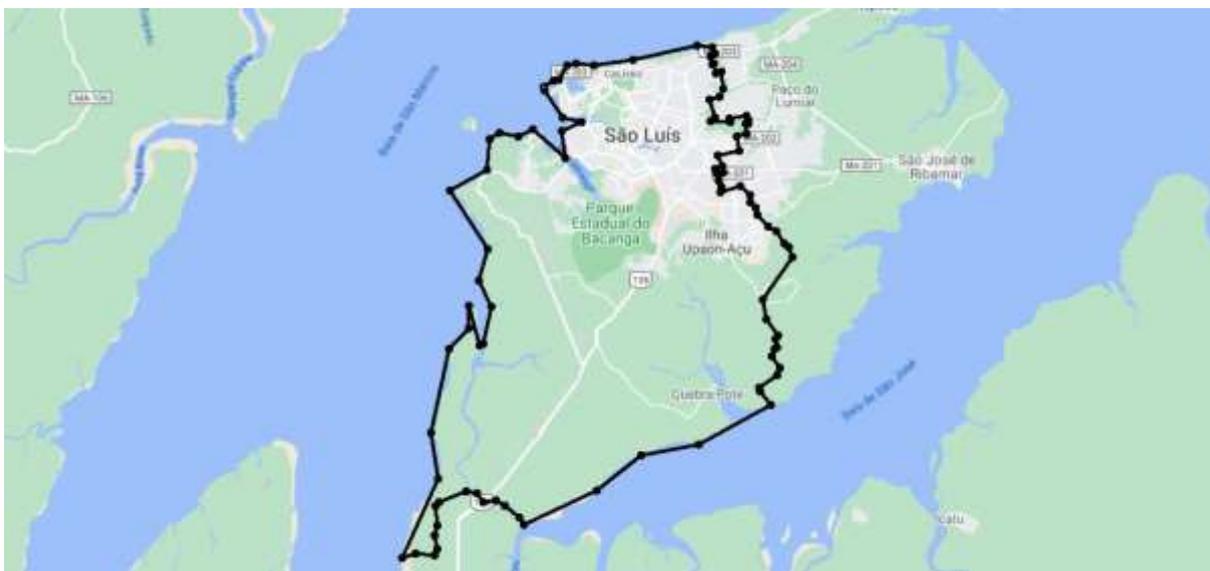
¹² <https://www.nasa.gov/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

¹³ <https://www.esa.int/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

O *software* apresenta os resultados de predição de cobertura em mapas de elevação e arruamento, rodovias e estradas com unidades de rádio (estações) especificadas para desempenho e inseridas onde necessário [7].

Para a obtenção dos dados do polígono da região de São Luís foi utilizado o arquivo KML (*Keyhole Markup Language*) disponibilizado pelo *Google Earth*, customizado pelo usuário no próprio *Radio Mobile*, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11. Área demarcada de São Luís [18]



No primeiro momento do trabalho foram adicionados os elementos da rede acesso de comunicação, pelo lado da infraestrutura de rede as ERBs e pelo lado do cliente as CPEs (*Customer-Premises Equipments*) e *smartphones*.

O estudo dos posicionamentos das ERBs considerou a infraestrutura disponível em cada *site* (local de instalação das ERBs) como, por exemplo, existência de suprimento de energia elétrica e facilidade de acesso.

Baseado em [6], considerou-se predição com 90 % de área coberta do município com a rede móvel celular¹⁴. Contudo, para suprir essa porcentagem foi trabalhado com posicionamentos das ERBs considerando terrenos altos buscando maior desobstrução e melhor propagação para alcançar a porcentagem requerida.

¹⁴ ILUMBA, Angelo. **Verizon Coverage Map: How It Compares to AT&T, T-Mobile & Sprint**. Disponível em: <https://www.comparecellular.com/coverage-maps/verizon-wireless-coverage-map/>. Acesso em: 21 fev. 2021.

3.2. Configuração do link

As ERBs 5G podem ser chamadas de gNB (*Generation Node B*) pois é uma nova infraestrutura de estações de rádio base.

Para realizar as comparações das redes 3,5 e 26 GHz, as configurações das gNBs e CPEs foram baseados nos dados de fabricação da empresa *Rohde&Shwarz*. Desse modo, as duas redes terão as mesmas configurações para gNBs e *smartphones* considerando *link budget* balanceado, como mostrado pelos parâmetros da Quadro 5 de modo a obter áreas de coberturas de *downlink* (ERB->*smartphone*) e *uplink* (*smartphone*->ERB) tão semelhantes quanto possível.

Quadro 5. Configurações gNB e *smartphone* [19]

	gNB	<i>smartphone</i>
Ganho de antena (G) (dBi)	12	9
Potência de transmissão (dBm)	40	17
Largura de Banda (BW- <i>bandwidth</i>) (MHz)	100	100
PEIRP ($P_{tx} + G_{tx} - P_{cc}$ *) (dBm)	52	26
Sensibilidade mínima de recepção (S) (dBm)	120	94
Multiplexação	TDD**	TDD
Perda de cabos e conectores (dB)	0	0
Altura antena (m)	20	1,5
<i>Link Budget</i> (PEIRP + S) (dBm)	146	146
Área de cobertura (%)	90	90

*perdas em cabos e conectores ***Time division duplexing*

O *Radio Mobile* não possui o cálculo de percentagem de área coberta dentro da plataforma. Sendo assim o autor [8] disponibilizou esse cálculo em um código com linguagem Python utilizando os softwares *Visual Studio Code* e *Jupyter* importando o arquivo *raster* (TXT) disponibilizado pelo *Radio Mobile*, precisando apenas do polígono da região requerida em KML.

Após esse processo, foi configurado o *Radio Mobile* seguindo os parâmetros mostrados na Quadro 6.

Quadro 6. Configuração no *Radio Mobile*

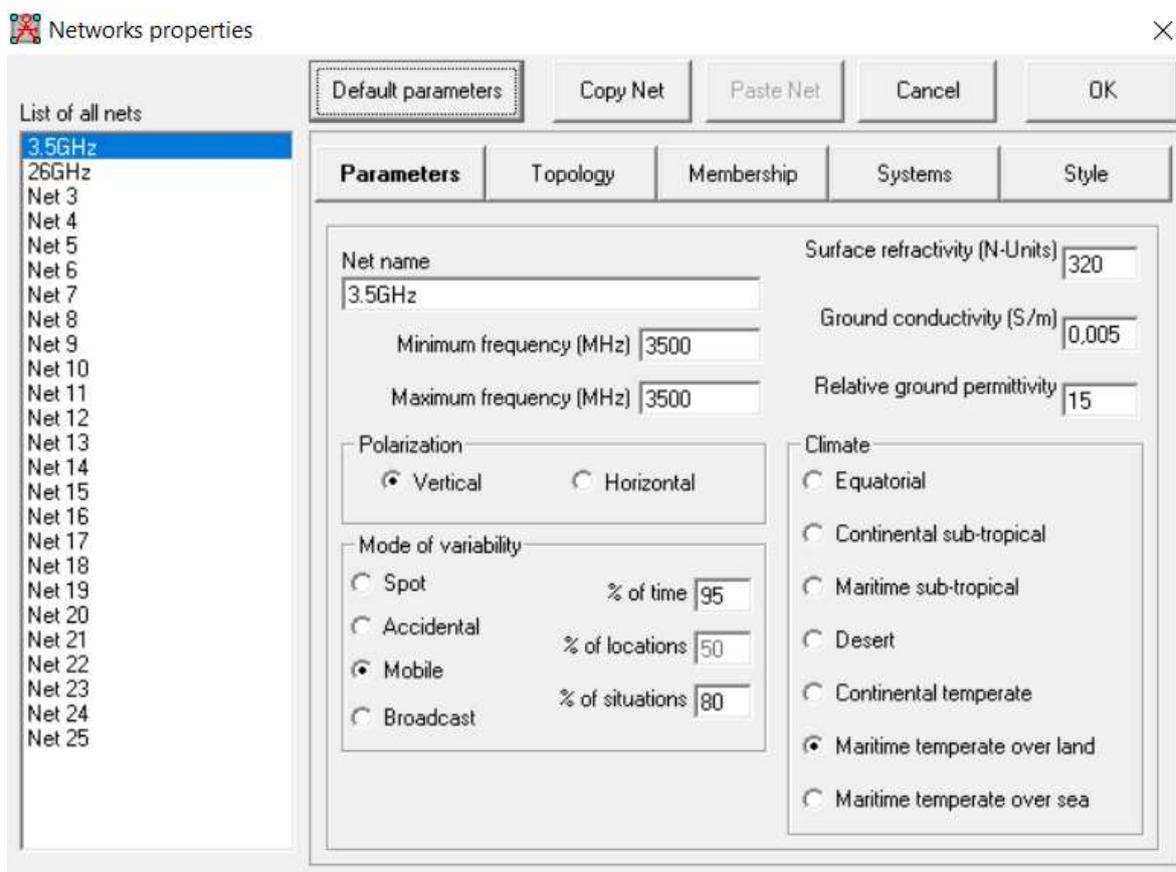
Parâmetros	
Tipo de antena	Omnidirecional (radiação para todas as direções)
Polarização da antena	Vertical
Modo de variabilidade	<i>Mobile (Time: 95 % e Situations: 80 %)</i>
Refratividade ¹⁵	320
Condutividade	0,005
Permitividade	15
Clima	Marítimo temperado sob a terra - <i>over land</i>
Topologia	Estrela (<i>star topology</i>)
Modo de propagação	<i>Two Rays (Normal)</i>

Na tela inicial são configuradas as propriedades da rede (*Networks Properties*), compostas por parâmetros (*Parameters*), topologia (*Topology*), elementos da rede (*Memberships*), rádios (ERB e *smartphone*) (*Systems*) e o estilo (*Style*). Assim, cria-se duas redes para o trabalho (3,5 e 26 GHz), onde as diferenças entre elas serão apenas nas frequências usadas e nos elementos da rede.

Com isso, as abas *Topology*, *Systems* e *Style* servirá para as redes 3,5 e 26 GHz sem alterações. Enquanto na aba *Parameters* será alterado apenas o valor da frequência e no *Memberships* será alterado os números de ERBs que no caso foi colocado como AP (*Access point*) pois a estação de rádio base é um ponto da rede de acesso. Mostrado na Figura 12, tem-se os parâmetros (*Parameters*) para a rede de 3,5 GHz, colocado em ambas as frequências máximas e mínimas o valor de 3500 MHz.

¹⁵ COUDÉ, Roger. **Radio Mobile - RF propagation simulation software**. Disponível em: http://radiomobile.pe1mew.nl/?The_program:File_menu:Network_prop.._Parameters. Acesso em: 21 fev. 2021.

Figura 12. Parâmetros da rede 3,5 GHz [18]



Para rede 26 GHz tem-se a Figura 13. A coloração em amarelo de alerta apresentado na figura é devida ao range do modelo *Longley-Rice* utilizado no *Radio Mobile* que irá até 20 GHz. Porém o *software* aceita colocar a frequência de 26 GHz para o estudo inserindo-se 26000 MHz nas frequências máximas e mínimas.

Figura 13. Parâmetros da rede 26 GHz [18]

Networks properties

List of all nets

- 3.5GHz
- 26GHz
- Net 3
- Net 4
- Net 5
- Net 6
- Net 7
- Net 8
- Net 9
- Net 10
- Net 11
- Net 12
- Net 13
- Net 14
- Net 15
- Net 16
- Net 17
- Net 18
- Net 19
- Net 20
- Net 21
- Net 22
- Net 23
- Net 24
- Net 25

Default parameters Copy Net Paste Net Cancel OK

Parameters Topology Membership Systems Style

Net name: 26GHz

Minimum frequency (MHz): 26000

Maximum frequency (MHz): 26000

Surface refractivity (N-Units): 320

Ground conductivity (S/m): 0.005

Relative ground permittivity: 15

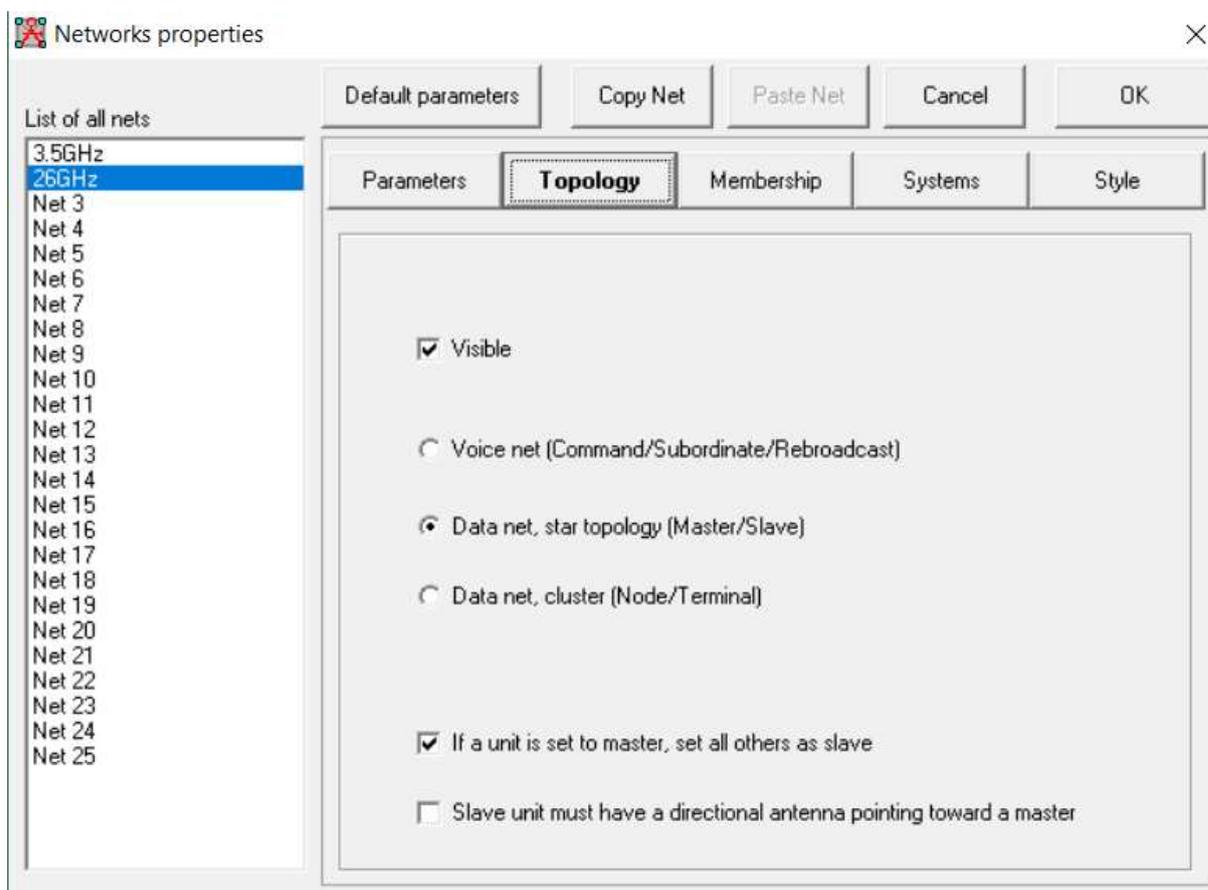
Polarization: Vertical Horizontal

Mode of variability: Spot (% of time: 95) Accidental (% of locations: 50) Mobile (% of situations: 80) Broadcast

Climate: Equatorial Continental sub-tropical Maritime sub-tropical Desert Continental temperate Maritime temperate over land Maritime temperate over sea

Na aba *Topology* na Figura 14 é configurada a topologia estrela (ponto-multiponto) tendo um único nó chamado de mestre (*Master*) e os outros chamados de escravos (*Slaves*) onde estarão direcionados ao nó mestre, porém todas as antenas são omnidirecionais não sendo necessário fazer os direcionamentos das antenas.

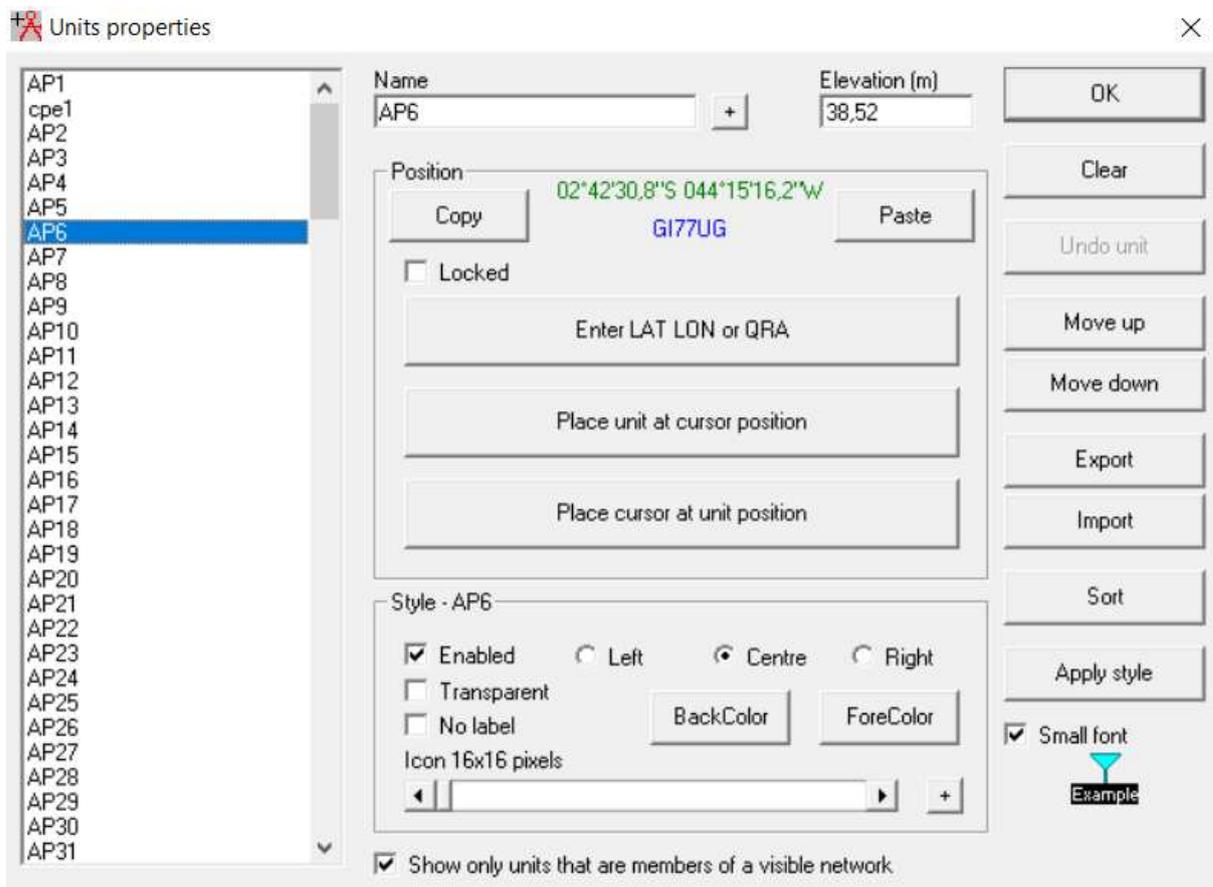
Figura 14. Topologia [18]



Após esse processo de configuração vem os membros da rede (*Memberships*), adicionada por meio das propriedades das unidades (*Units Properties*), mostrada na Figura 15, podendo habilitar ou desabilitar os APs que deseja fazer a predição de cobertura.

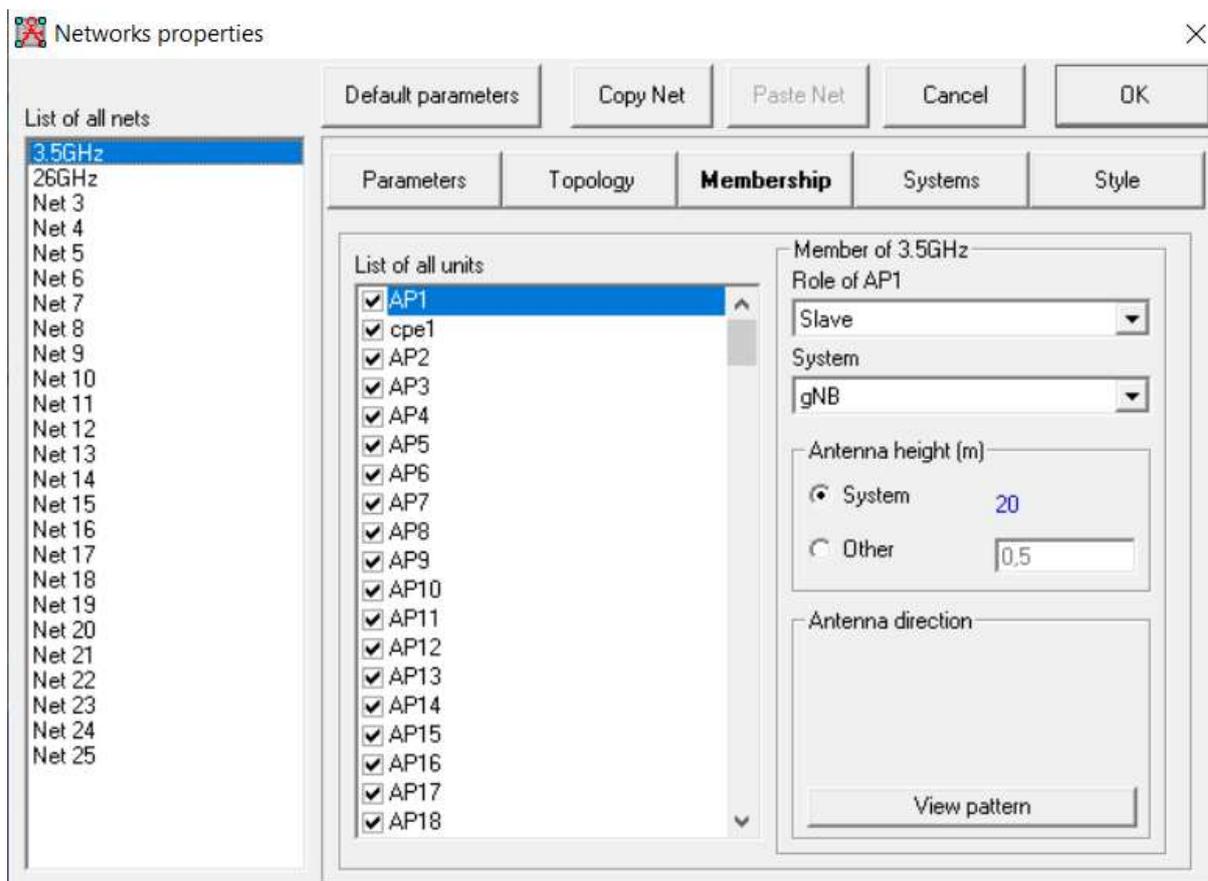
Além disso os posicionamentos foram feitos pelo *Google Earth* na qual foi importado no *Radio Mobile* em arquivo KML.

Figura 15. Unidade de propriedades [18]



Através disso na Figura 16 mostra os *Memberships*, destacando cada componente para a informação de *Master/Slave* e o sistema (gNB ou *smartphone*) colocado em cada AP específico, podendo ajustar a altura antena em conformidade com o sistema.

Figura 16. Membros da rede [18]



Nesse caso foi dividido os números de APs para cada rede para obter a percentual de 90 % de cobertura. Na rede 3,5 GHz foi utilizado 35 APs para cumprir essa necessidade. Já a rede de 26 GHz precisou de 143 APs para ter essa porcentagem, um aumento de pouco mais do que quatro vezes o número de ERBs da rede 3,5 GHz em função de maiores perdas na propagação do sinal e de maior obstrução da primeira zona de Fresnel na alta frequência.

Tem-se então a aba *Systems* que são exibidas as antenas do sistema para o gNB na Figura 17 e smartphone na Figura 18, conforme dados da Quadro 5.

Figura 17. Sistema gNB [18]

Networks properties ×

Default parameters Copy Net Paste Net Cancel OK

List of all systems

- gNB
- Smartphone
- System 3
- System 4
- System 5
- System 6
- System 7
- System 8
- System 9
- System 10
- System 11
- System 12
- System 13
- System 14
- System 15
- System 16
- System 17
- System 18
- System 19
- System 20
- System 21
- System 22
- System 23
- System 24
- System 25

Parameters Topology Membership **Systems** Style

00 Select from VHF ... UHF ...

System name gNB

Transmit power (Watt) 10 (dBm) 40

Receiver threshold (μ V) 0,2239 (dBm) -120

Line loss (dB) 0 (Cable+cavities+connectors)

Antenna type omni.ant View

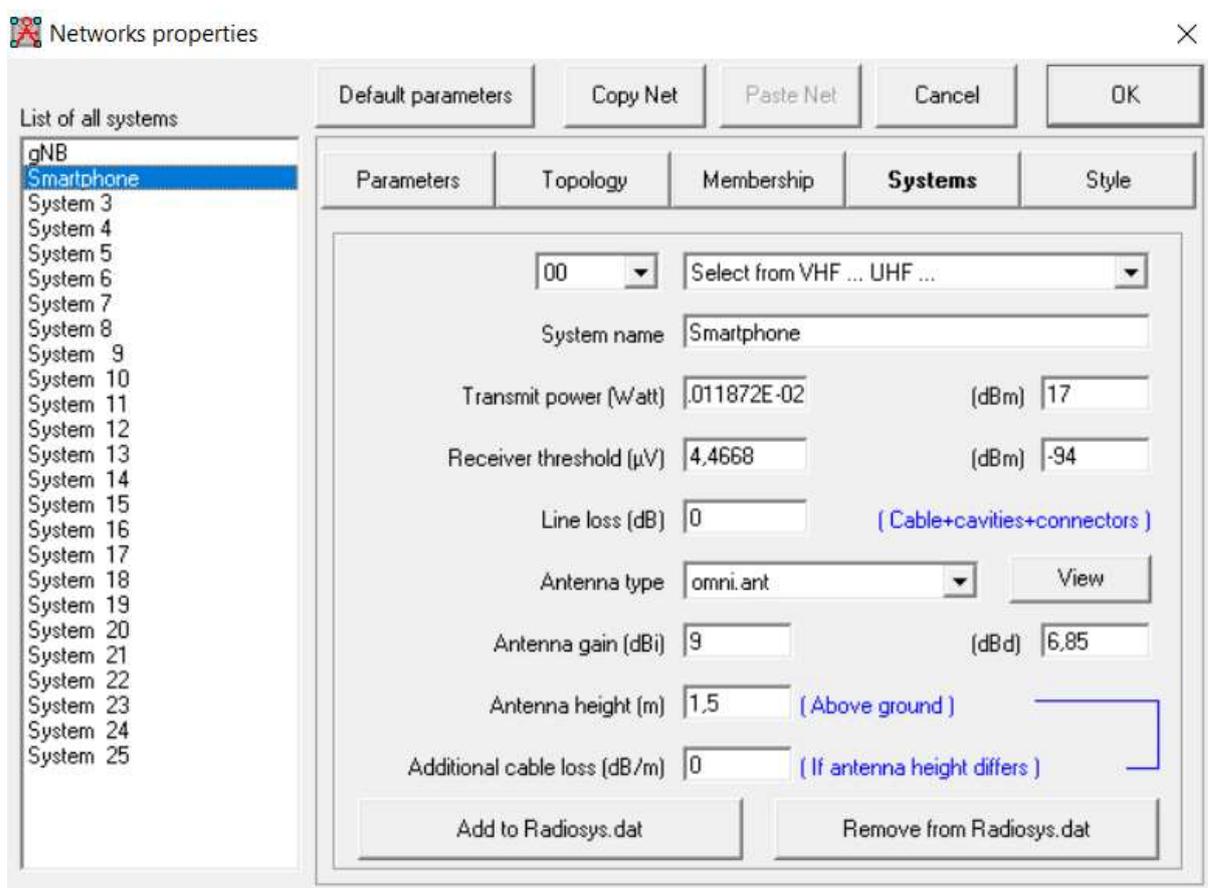
Antenna gain (dBi) 12 (dBd) 9,85

Antenna height (m) 20 (Above ground)

Additional cable loss (dB/m) 0 (If antenna height differs)

Add to Radiosys.dat Remove from Radiosys.dat

Figura 18. Sistema smartphone [18]



Por fim tem-se a aba *Style* na Figura 19 que define o modo de propagação do sistema conforme a Quadro 6, além de um pequeno sistema de cor para o *link* de comunicação de transmissão e recepção. Sendo da cor verde acima de 3 dB acima da sensibilidade mínima de recepção, amarelo quando é acima de -3 dB e vermelho quando não é possível haver o enlace de comunicação.

Figura 19. Estilo [18]



3.3. Predição de cobertura

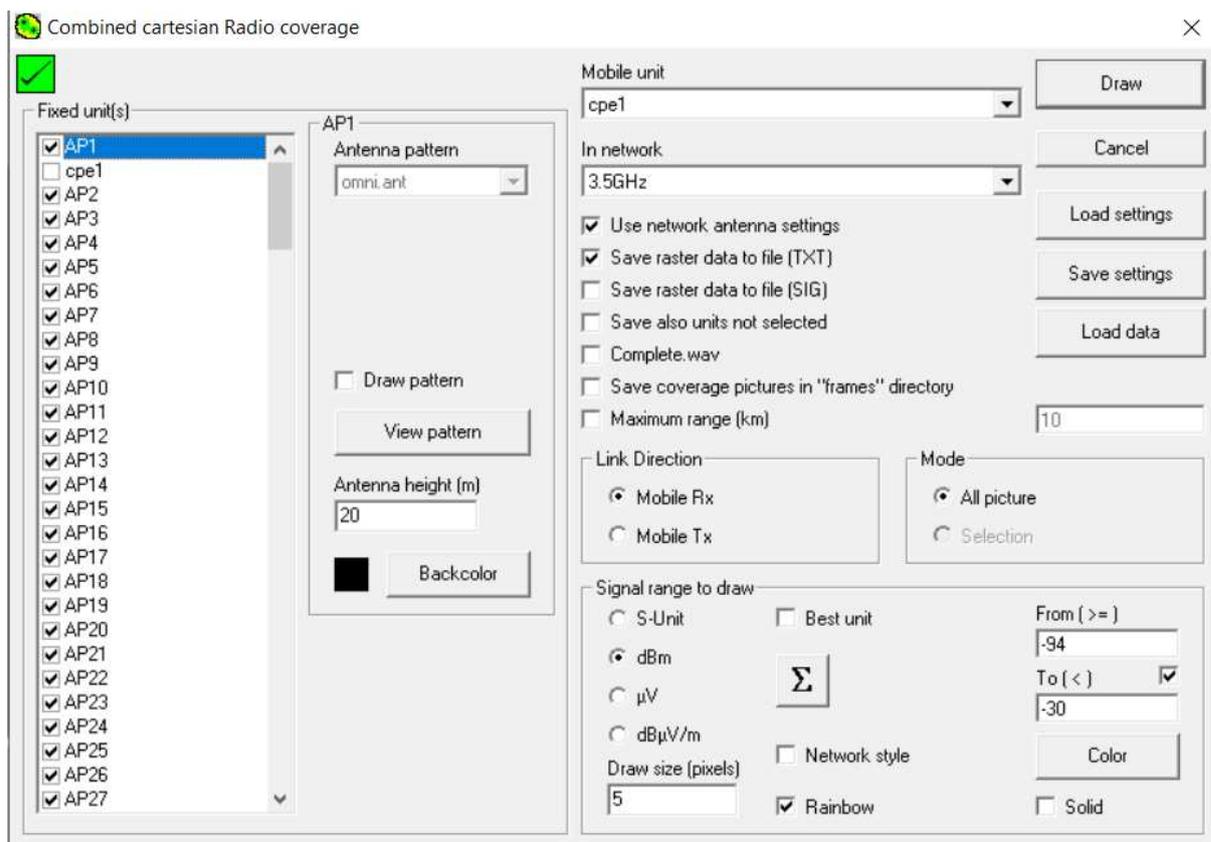
Com todas essas configurações feitas, em seguida foi efetuar a predição de cobertura das duas redes estudadas. Para isso no *Radio mobile* tem-se a cobertura de rádio cartesiana combinada dos vários APs (*Combined cartesian radio coverage*) que fará o processo de predição representado na Figura 20.

Seleciona-se os APs que será empregada na predição. Após isso seleciona qual será a unidade móvel (*Mobile unit*) na qual será a CPE1, visto que contém o sistema de *smartphone*. Posteriormente será escolhido em qual rede (*In network*) se deseja realizar a predição, podendo ser a de 3,5 ou 26 GHz. Sendo possível salvar a cobertura do sinal em um arquivo *raster* em TXT, usado para fazer o cálculo de porcentagem de área coberta da região plotada.

O *Link Direction* (direção do *link*) tem a finalidade de realizar a predição de *downlink* (*Mobile Rx* – do transmissor da gNB para o receptor da CPE1) ou *uplink* (*Mobile Tx* – do transmissor da CPE1 para o receptor da gNB). Após selecionar esse processo, seleciona a

unidade de potência que deseja trabalhar (no caso em dBm) com tamanhos de desenhos (*draw size*) de 5 *pixels* colocando o limiar de potência de recepção no range -30 a -94 dBm no *downlink* e -30 a -120 dBm para o *uplink*, sendo -94 dBm o limiar mínimo de recepção da CPE1 e -120 dBm o limiar mínimo de recepção da gNB.

Figura 20. Cobertura de rádio cartesiana combinada [18]



Além desses aspectos, foi seleciona a opção *Rainbow* para melhorar o desenho (*plot*) mostrado na predição de cobertura da rede para deixar visível as mudanças de potências através das cores. Da cor mais quente vermelho (-30 dBm) para sensibilidade máxima de recepção até a cor mais fria azul (-94 dBm) para sensibilidade mínima de recepção e abaixo deste valor não haverá comunicação entres os equipamentos que será mostrado de cor cinza. Como vários APs irão propagar o sinal de diversos locais distintos, em alguns pontos mais de uma gNB pode cobrir a mesma área. Com isso vai prevalecer aquela com melhor potência naquela localidade.

A predição de cobertura das duas redes para uma área coberta 90 % foi utilizada números diferentes de APs para *downlink* e *uplink*, pois as condições de propagação são

diferentes uma vez que as alturas dos rádios, o relevo e a morfologia são diferentes considerando os dois sentidos de comunicação.

Na Figura 21 tem-se a predição de cobertura da rede 3,5 GHz para o *downlink* e na Figura 22 tem-se os posicionamentos dos APs dessa rede. Para *uplink* segue na Figura 23 e Figura 24.

Figura 21. Predição de cobertura de 3,5 GHz no *downlink* [18]

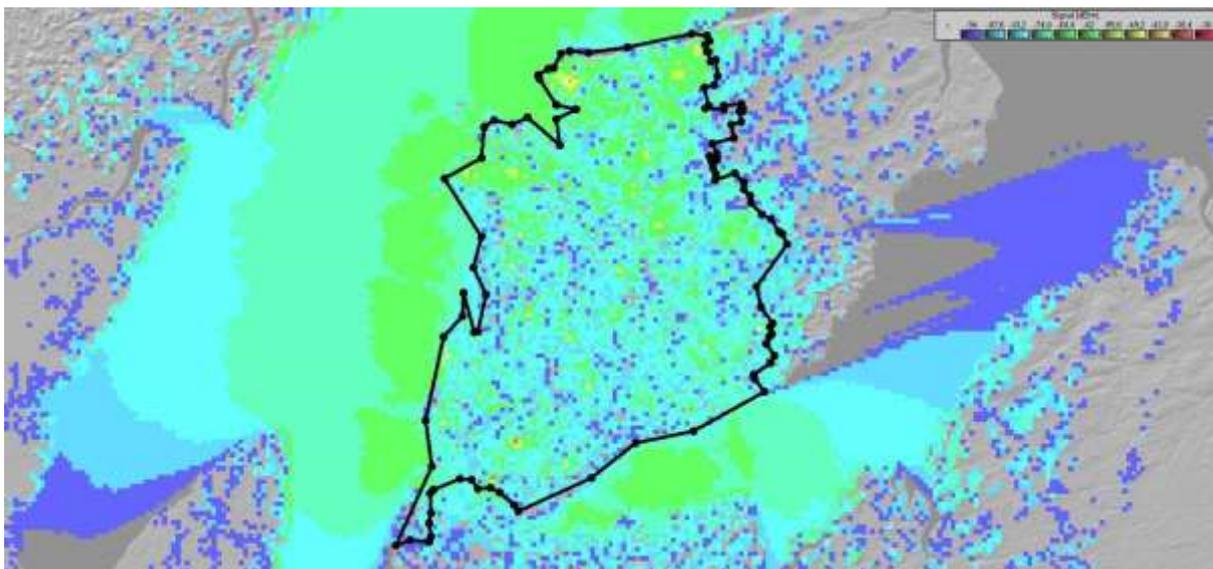
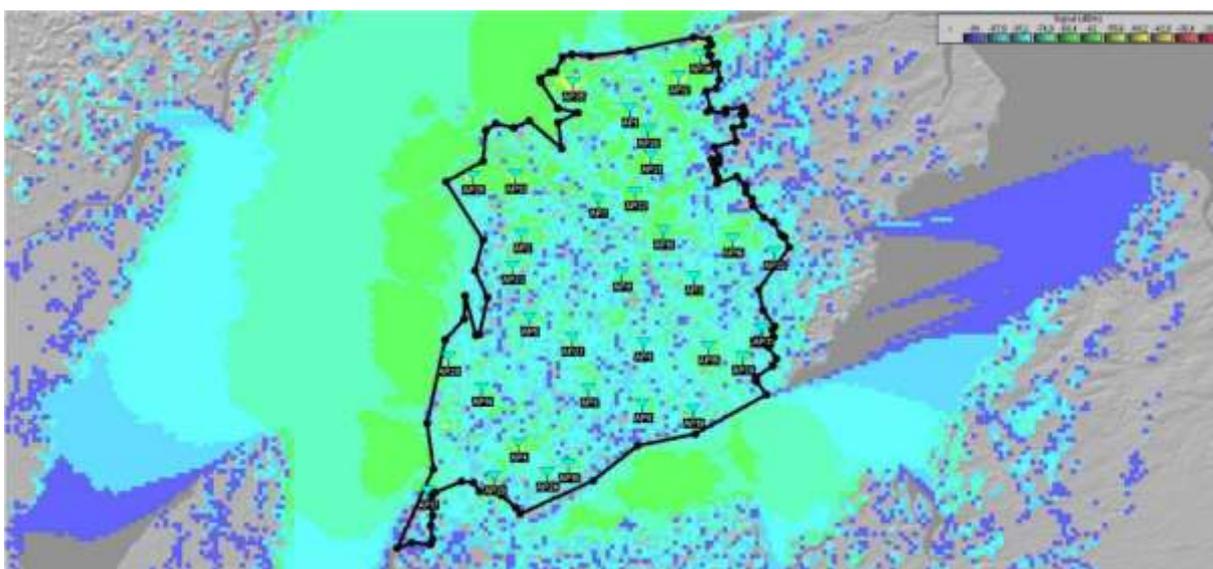


Figura 22. APs da rede 3,5 GHz no *downlink* [18]



Para essa rede de *downlink* considerou-se 35 APs resultando em uma área coberta de 93,72 %, superior ao requisito mínimo de 90 %.

Figura 23. Predição de cobertura de 3,5 GHz do *uplink* [18]

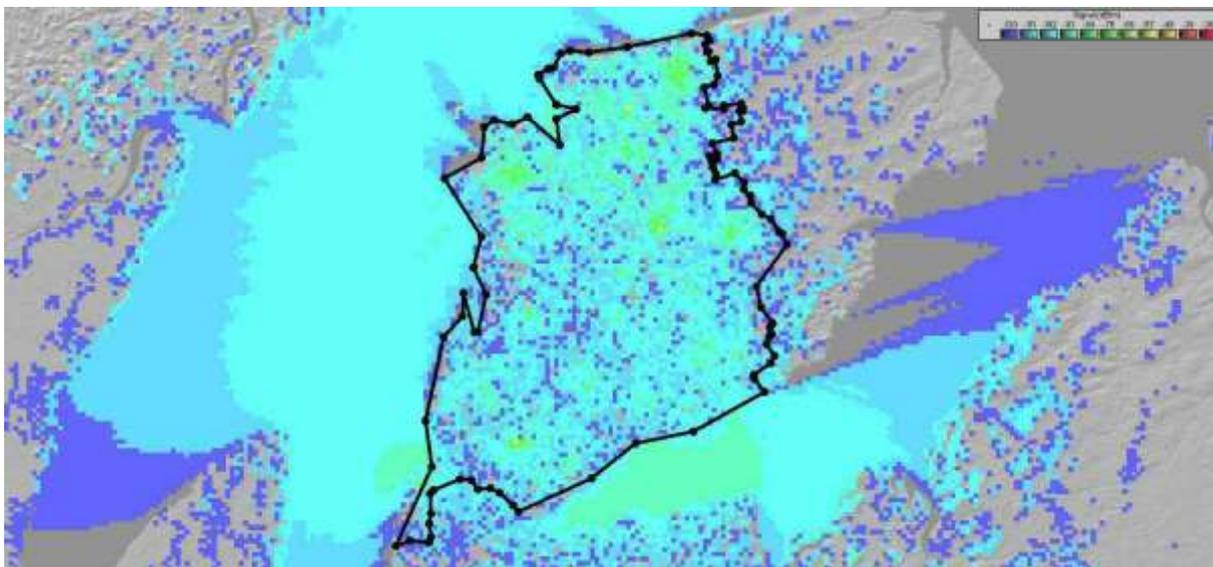


Figura 24. APs da rede 3,5 GHz do *uplink* [18]



Para a rede de *uplink* necessitou-se de apenas 22 APs com uma área coberta de 90,5 %, superior ao requisito mínimo de 90 %. Porém o *downlink* necessitou de um aumento de pouco menos de 60 % da quantidade de ERBs do *uplink*, podendo ser considerado um acréscimo alto mesmo tendo o *link budget* balanceado, revelando assim que a propagação do sinal no *downlink*

se comporta de forma diferente do *uplink* em função do relevo, da morfologia e das alturas das gNBs e do terminal móvel.

Na Figura 25 tem-se a predição de cobertura da rede 26 GHz no *downlink* e na Figura 26 tem-se os posicionamentos dos APs dessa rede.

Figura 25. Predição de cobertura em 26 GHz no *downlink* [18]

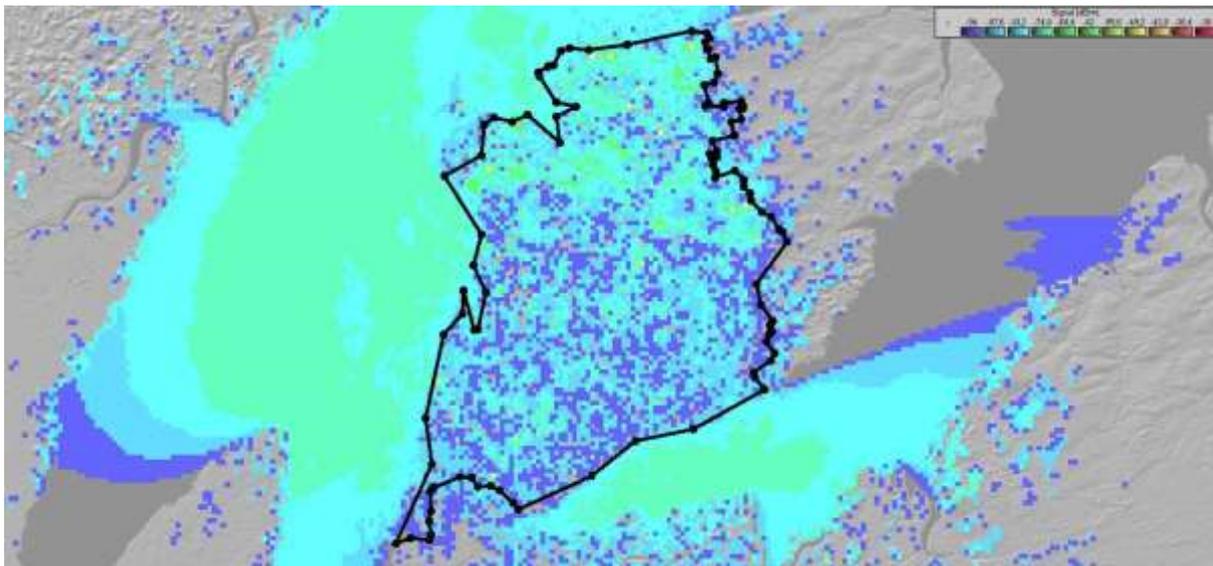
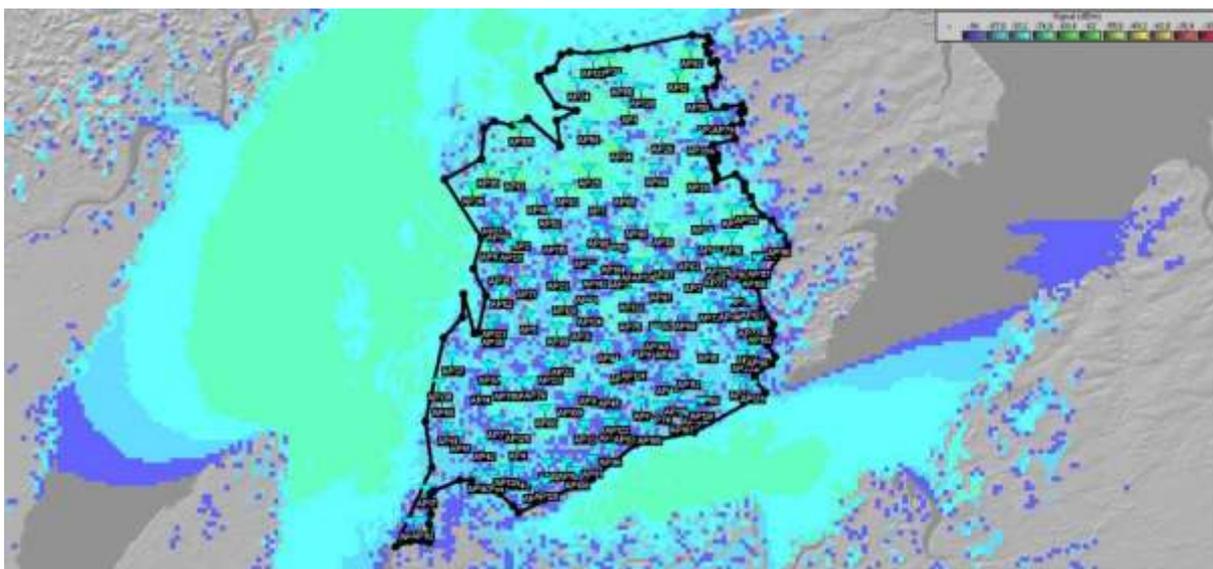


Figura 26. APs da rede 26 GHz no *downlink* [18]



Para essa rede de *downlink* considerou-se 143 APs com uma área coberta de 91,6 %, superior ao requisito mínimo de 90%. Observa-se que a região do centro para o sul necessitou

de mais ERBs, pois nessa região se localizam muitas árvores causando obstrução na cobertura. A área coberta de um AP se torna baixa, visto que trabalha com frequências elevadas. Os resultados para o *uplink* são apresentados nas Figura 27 e Figura 28.

Figura 27. Predição de cobertura de 26 GHz no *uplink* [18]

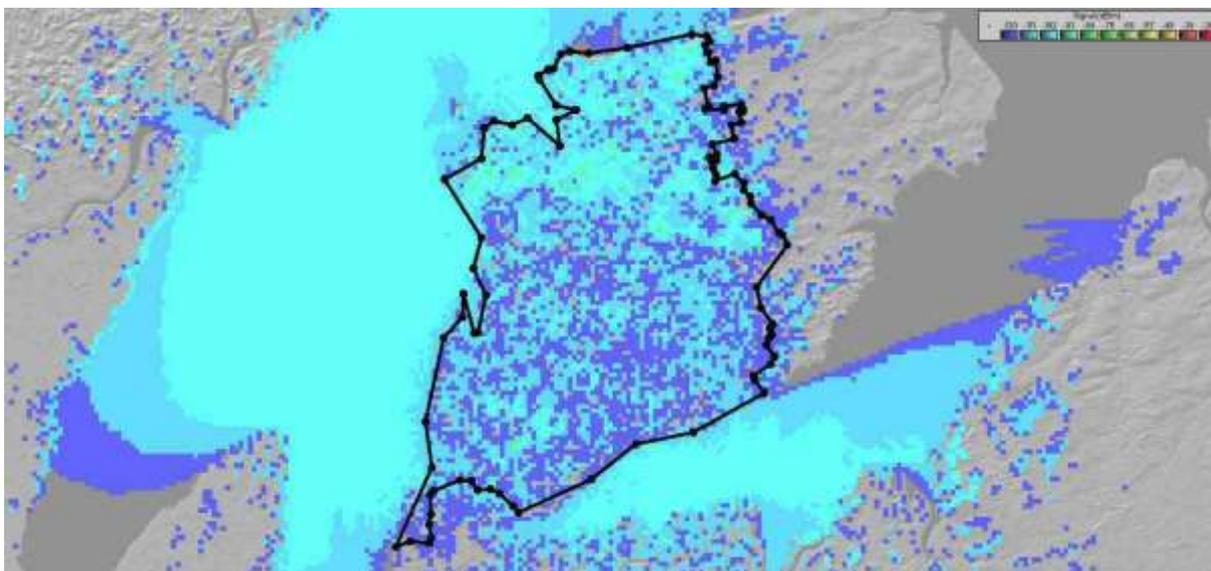
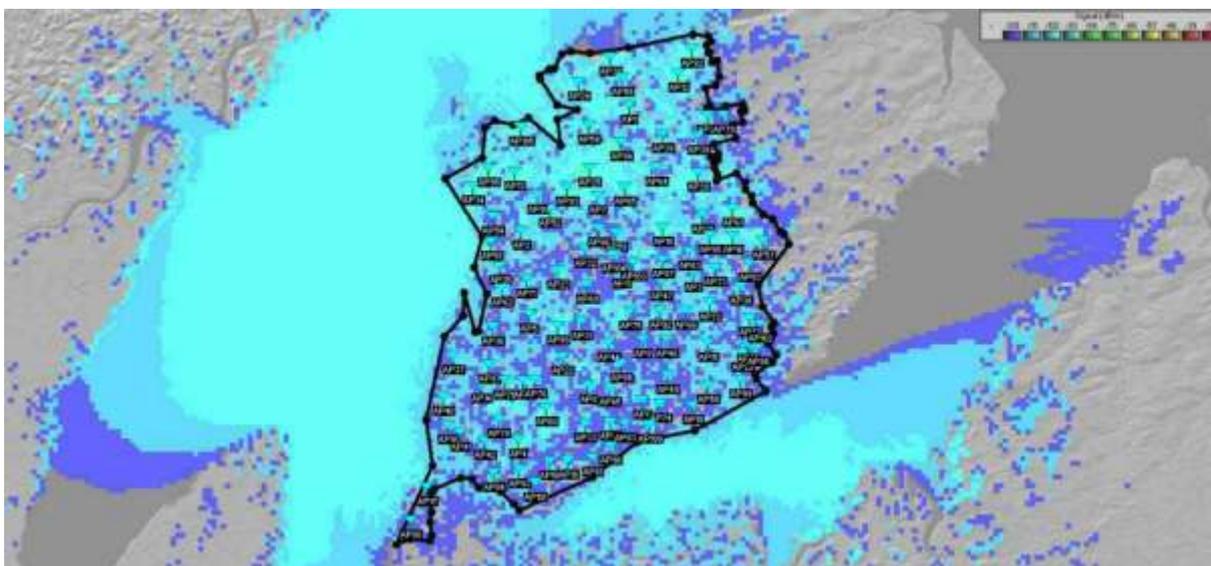


Figura 28. APs da rede 3,5 GHz *uplink* [18]



Para essa rede de *uplink* teve-se apenas 105 APs com uma área coberta de 90,49 %, superior ao requisito mínimo de 90 %. Porém o *downlink* necessitou um aumento de um pouco mais de 36 % da quantidade de ERBs em relação ao *uplink*. Sendo o *link budget* balanceado, a propagação do sinal *downlink* se comporta de forma diferente do *uplink*.

Nas Figura 29 e Figura 30 tem-se o estabelecimento de um enlace de comunicação no *downlink* (gNB->smartphone) das rede 3,5 e 26 GHz respectivamente.

Figura 29. Enlace *downlink* 3,5 GHz [18]

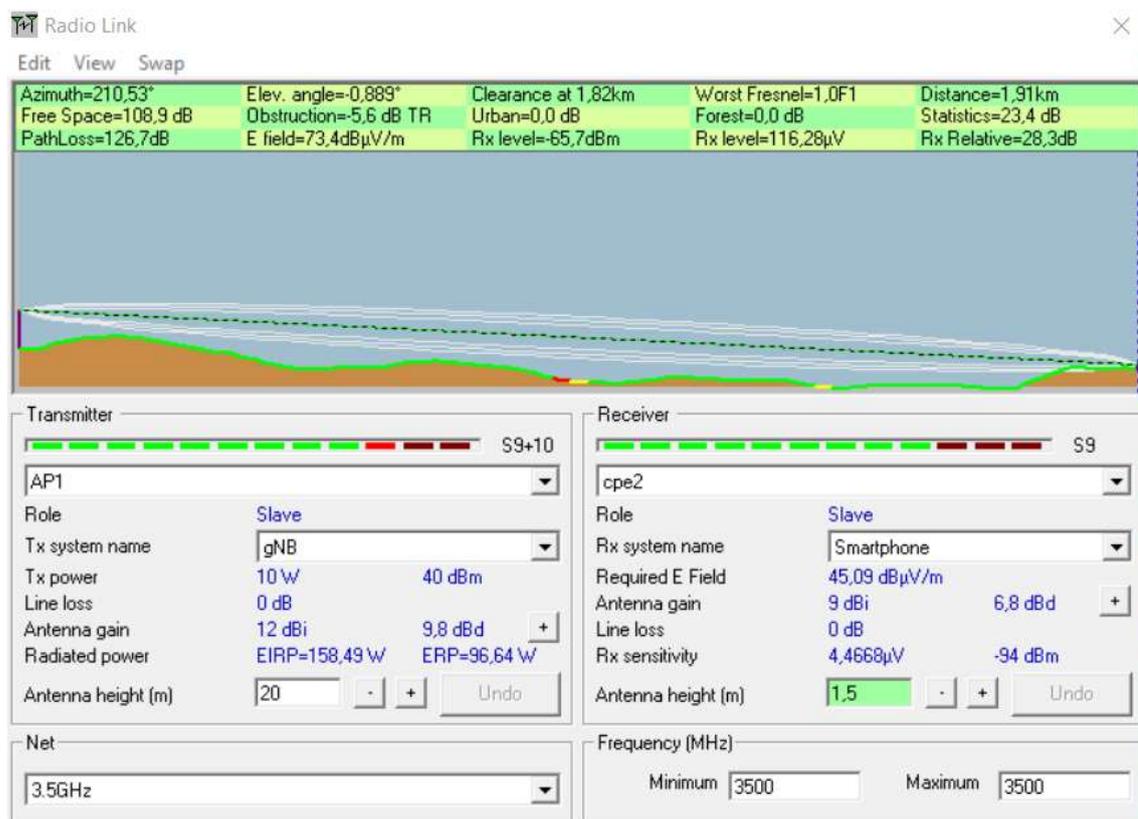
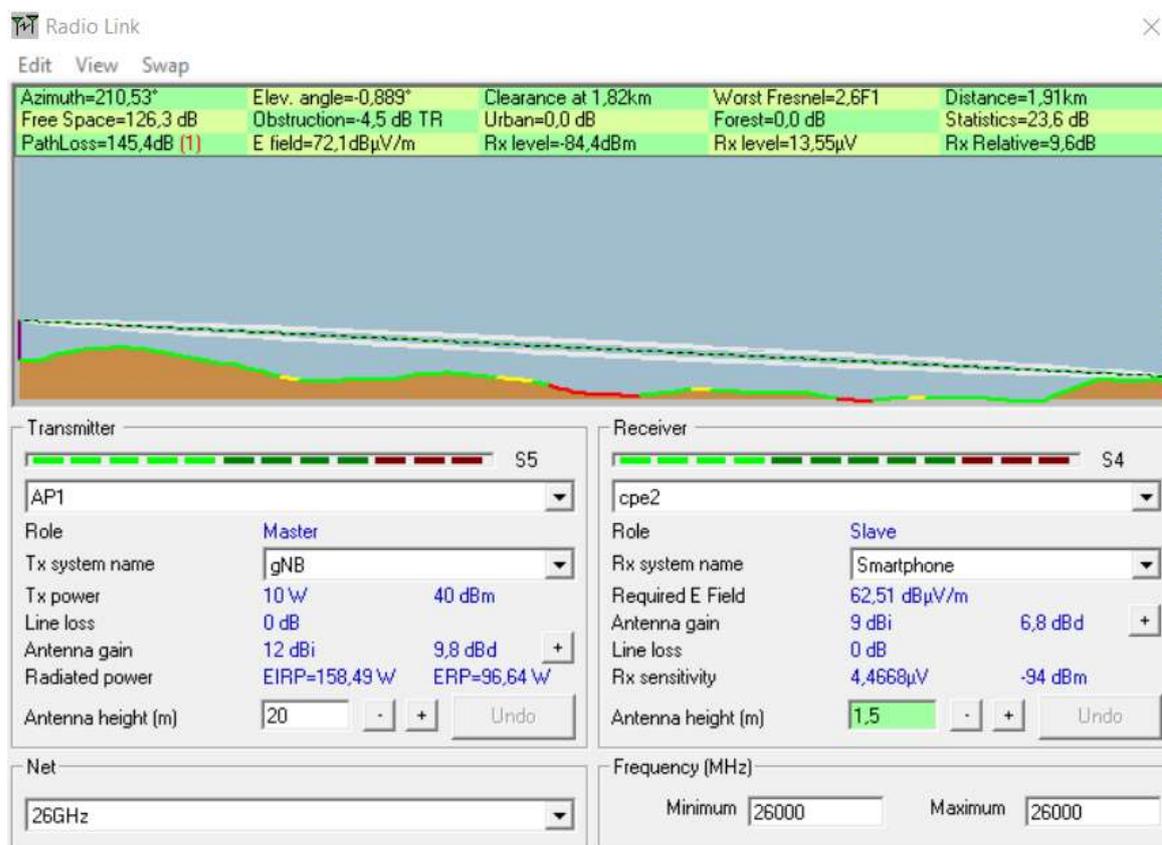


Figura 30. Enlace *downlink* 26 GHz [18]

Nos dois casos foi possível estabelecer uma comunicação entre o transmissor e receptor. Pode-se observar nas Figura 29 e Figura 30 perda de espaço livre (*free space*) e perda de percurso (*path loss*) maior na rede 26 GHz que na rede 3,5 GHz em função da maior frequência além da zona de fresnel (linhas brancas) menor na rede 26 GHz que na rede 3,5 GHz em função da maior frequência. Outra característica importante é o *Rx level* (potência de chegada ao receptor) que a rede 26 GHz se mostrou menor que a 3,5 GHz em função das perdas de percurso maiores nas frequências mais altas.

Percebe-se que as ondas milimétricas são eficazes em apenas algumas centenas de metros. Com isso devem ser trabalhada de forma inteligente para conseguir lidar com as diversas obstruções e interferências do meio da comunicação. Além de poder melhorar o alcance através de antenas diretivas com *beamforming* utilizando MIMO para aproveitar ao máximo que essa tecnologia pode trazer.

Com raios menores de cobertura nas ondas milimétricas, a ERB não irá ficar saturada de usuários. Assim, atendendo de forma mais eficiente as estações móveis que estejam em uma mesma ERB, visto que disponibilizará mais recursos com menos latência. A desvantagem é que

para iluminar uma determinada área serão necessários mais ERBs. Contudo, é necessário o aprofundamento dos estudos na área de aspectos de propagação de sinal, afim de melhorar a infraestrutura para a tecnologia 5 G.

4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi de fazer uma análise e estudo de predição de cobertura para a telefonia móvel 5G utilizando as ondas milimétricas. Além de estudos das características e propriedades da propagação em ondas milimétricas em elevadas frequências, onde permite altas taxa de dados, além de baixíssimos atrasos na comunicação.

Foi usado o *software* de radiofrequência gratuito *Radio Mobile* para realizar as predições de cobertura de rádio frequência (RF), para cobrir pelo menos 90 % da área do município de São Luís.

Com isso, foi configurada na ferramenta uma comparação entre duas frequências, a rede em 3,5 GHz e a rede em 26 GHz. Revelando de forma prática, os conceitos estudados sobre as ondas milimétricas. Além disso obteve-se resultados de porcentagens de área coberta superior a margem requerida de 90 %, calculado através da linguagem Python, visto que a ferramenta não realiza essa função. Feito esse processo, foi analisado duas propagações diferentes, o *downlink* e o *uplink*.

No caso da rede em 3,5 GHz para *downlink* teve-se 35 ERBs com 93,72 % de área coberta e para *uplink* apenas 22 ERBs com 90,5 % de área coberta. Já no caso da rede em 26 GHz para *downlink* teve-se 143 ERBs com 91,6 % de área coberta e para o *uplink* foi de 105 ERBs com 90,49 % de área coberta mostrando um aumento de pouco mais do que quatro vezes o número de ERBs da rede 26 GHz em relação a rede 3,5 GHz em função das maiores perdas na propagação do sinal e obstrução da primeira zona de Fresnel na alta frequência.

Este trabalho mostrou também que existe divergência da quantidade de ERBs entre os enlaces de comunicação de *downlink* (gNB -> *smartphone*) e *uplink* (*smartphone* -> gNB), mesmo tendo um *link budget* balanceado, revelando que a propagação do sinal no *downlink* se comporta de forma diferente do *uplink* em função do relevo, da morfologia e das alturas das gNBs e do terminal móvel.

Portanto os resultados obtidos foram satisfatórios para cobrir a área atendendo o requisito mínimo de 90 %, apesar das desvantagens das ondas milimétricas para longas distâncias por conta das perdas de percurso e obstruções que uma rede como essa pode sofrer, além da maior demanda de investimento de mais ERBs para o funcionamento da rede. Porém obteve-se sucesso a alcançar os objetivos mostrados no trabalho.

5. TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos tem-se como sugestões:

- Realizar as predições de cobertura em uma outra plataforma como a *CelPlanner* e realizar uma comparação com o *Radio Mobile*;
- Realizar predições utilizando diferentes frequências e com diferentes localidades;
- Realizar um *plugin* para calcular a porcentagem de área coberta dentro do *Radio Mobile*;
- Fazer estudos mais aprofundados em ondas milimétricas para otimizar a rede;
- Realizar a predição usando equipamentos reais e fazer comparações com os *softwares* disponíveis.

REFERÊNCIAS

- [1] LYRA, Antonio Luiz Bonna de. **USO DE UM PROCESSO ETL EM UM MODELO DATA WAREHOUSE PARA A GERAÇÃO DE DASHBOARDS DE INDICADORES DE REDES DE TELEFONIA CELULAR**. 2016. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônico e de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- [2] CARAZZA, Vitor de Aguiar. **CAPACIDADE E PREDIÇÃO DE CANAIS SEM FIO EM ONDAS MILIMÉTRICAS PARA REDES CELULARES DE QUINTA GERAÇÃO**. 2015. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro de Redes de Comunicação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- [3] RAPPAPORT, Theodore S.; HEALTH JUNIOR, Robbert W.; DANIELS, Robbert C.; MURDOCK, James Nelson. **Millimeter Wave Wireless Communications**. Pearson Prentice Hall, 2014.
- [4] GUO, Nan; QIU, Robert C.; MO, Shaomin S.; TAKAHASHI, Kazuaki. **60 GHz Millimeter-Wave Radio: Principle, Technology, and New Results**, 2007.
- [5] APPAPORT, Theodore S.; SUN, Shu; MAYZUS, Rimma; ZHAO, Hang; AZAR, Yaniv; WANG, Kevin; WONG, George N.; SCHULZ, Jocelyn K.; SAMIMT, Mathew; GUTIERRE, Felix. **Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!**, 2013.
- [6] LEE, Jhong Sam; MILLER, Leonard. **CDMA Systems Engineering Handbook**. Boston/London: Artech House, 1998.
- [7] COUDÉ, Roger; HENDERSON, Brian. **Radio Mobile: radio propagation and radio coverage computer simulation program**, 2008.
- [8] PINHEIRO, Philippe Manoel Ramos. **ANÁLISE DE COBERTURA DE ÁREA GEOGRÁFICA A PARTIR DE DADOS DISPONIBILIZADOS POR SOFTWARE DE PREDIÇÃO DE COBERTURA DE RADIOFREQUÊNCIA**. 2019. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

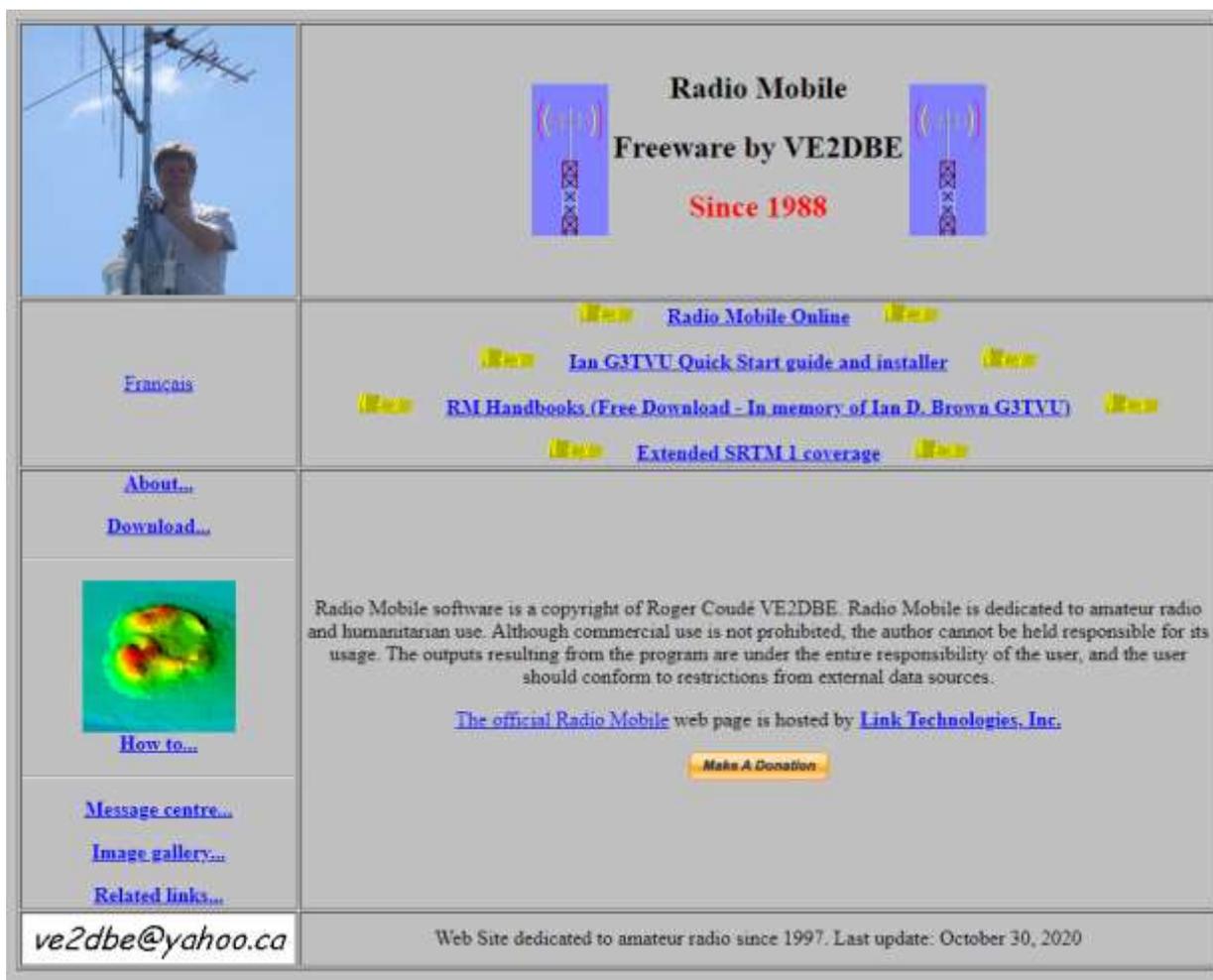
- [9] RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. São Paulo: Pearson Education, 2009.
- [10] DHEIN, N. R. **Sistemas Radio Digitais**. Centro de Estudos em Telecomunicações. CETUC-PUC/RIO, 2005.
- [11] HUFFORD, et al. **A guidetothe use of the ITS irregular terrainmodel in theareapredictionmode. US Department of Commerce, National Telecommunications and Information Administration**, 1982.
- [12] COSENZA, Vivian Barreiros. **Estudo da cobertura do sinal de 14 GHz em ambientes fechados**. 2017. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- [13] MAXWELL. **ANÁLISE DO PROBLEMA DA ATENUAÇÃO POR CHUVAS**. Puc - Rio de Janeiro, Certificação digital N° 0220906/CA, 1992.
- [14] SILVA, Itala Liz da Conceição Santana. **DO 1G AO 5G: EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELEFONIA MÓVEL**. 2016. 90 f. TCC (Doutorado) - Curso de Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.
- [15] GUSSEN, Camila Maria Gabriel. **ESTUDO E SIMULAÇÃO DA CAMADA FÍSICA DO 3G-LTE NA CONEXÃO DOWNLINK**. 2009. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Eletrônica e de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, del, 2009.
- [16] MOREIRA, Martha Miranda. **5G – Evolução, MIMO massivo, beamforming e formas de onda**. 2018. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.
- [17] CARAZZA, Vitor de Aguiar; DIAS, Ugo Silva. **Caracterização de Canais Sem Fio sob Desvanecimento TWDP na Faixa de Ondas Milimétricas**. XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Santarém, v. 2, p. 266-267, ago. 2016.
- [18] Imagens retiradas do *Radio Mobile*.
- [19] STUHLFAUTH, Reiner. **5G New Radio Fundamentals, procedures, testing aspects**. Alemanha: Rohde & Schwarz, 2018.

APÊNDICE

APÊNDICE A – INSTALAÇÃO DO RADIO MOBILE

Para a instalação do *software Radio mobile* criado pelo francês Roger Coudé, terá que acessar o *link* [Radio Mobile WEB Site \(ve2dbe.com\)](http://Radio Mobile WEB Site (ve2dbe.com)) conforme a Figura A - 3.

Figura A - 1: Tela inicial para instalação do Radio Mobile



Após acessar a página, terá que abrir a tela para baixar o software clicando no *link* escrito “Download”, onde a apresenta o passo a passo para instalação, seguindo a Figura A - 2 e Figura A - 3.

Figura A - 2: Tela para *download* do *Radio mobile*

Version 11.6.6

Radio Mobile download in Various Languages

Step 1

For old versions of Windows, Linux-Wine, or Mac-WineBottler:

Download the **Visual Basic Runtime (Service pack 6)** [File vbrun60sp6.exe](#) from Microsoft.

Install it on your PC before executing the next steps (you may have to reboot).

Step 2

Create a program directory to place the contents of the following files.

Example:

"C:\Radio_Mobile"

Step 3

Installation of [rmwcore.zip](#) is required for all languages!

Step 4

[Arabic](#) language by Abdullah Alotaibi

[Brazilian/Portuguese](#) language by Marcio Pereira

[Chinese](#) language by Anthony Hu

[Danish](#) language by Jimmy Hahn

[German](#) language by Arnold Tibus

[English](#) language by Roger Coudé

[French](#) language by Roger Coudé

[Greek](#) language by Ioannis Liaskos

[Farsi](#) language by Sana alizadeh

[Italian](#) language by Gian Leonardo Solazzi and Gabriele Memeo

[Dutch Flemish](#) language by Gust Mariens

[Norwegian](#) language by Kai Gunter Brandt

[Polish](#) language by Dominik Rogalski

[Russian](#) language by Serguei Fetisov

[Spanish](#) language by Juan Andrés González

[Slovak](#) language by dxr

[Turkish](#) language by A. Tahir DENGIZ

[Multiple languages](#) (experimental)

Figura A - 3: Tela de *download* do *Radio mobile*

Step 5

Create a data directory structure.

Example:

"C:\Geodata"

"C:\Geodata\srtm3"

"C:\Geodata\srtm1"

"C:\Geodata\srtmthird"

"C:\Geodata\Landcover"

"C:\Geodata\OpenStreetMap"

"C:\Geodata\Terraserver"

"C:\Geodata\Toporama"

...

Step 6

Insure that no other instances of Rmwdlx32.dll exists on your system. If you want to put the program at more than one location, you should put Rmwdlx32.dll (and other dlls) in c:\Windows\system32.

Step 7

By reading and editing the file Map_Link.txt with Notepad, the program can access various map layers for personal use only.

Create sub directories for those sites in your Geodata directory.

Step 8

To get a World Map with SRTM continent definition, extract file [wmap.zip](#) in the program directory.

Step 9

"Right click:" on your language executable (example: rmweng.exe) and select "Send to" then "Desktop (create shortcut)" and launch the program with the shortcut.

Step 10

In the main menu, select "Options" "Internet" and set the local paths created above for your SRTM data and other sources as listed.

Radio Mobile is now ready. Please have a look in the "How to" section to learn more about the program

Step 11

For Windows 7 and 8 users you may need to install the [Windows Help fix](#).

Special tnx to:

freeimage.sourceforge.net

Com isso, foram feito os passos (*steps*) tendo uma pasta Radio_Mobile para armazenar os arquivo. Descompactando os arquivos rmwcore e das versões das linguagens em português e inglês conforma a Figura A - 4. Além disso, cria-se uma pasta Geodata para adicionar o STRM3

Figura A - 5: Alteração do Map_link

```

Map_Link.txt - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Radio Mobile restricted merge sources (this line for alternate OSM style server)
virtualearth.net

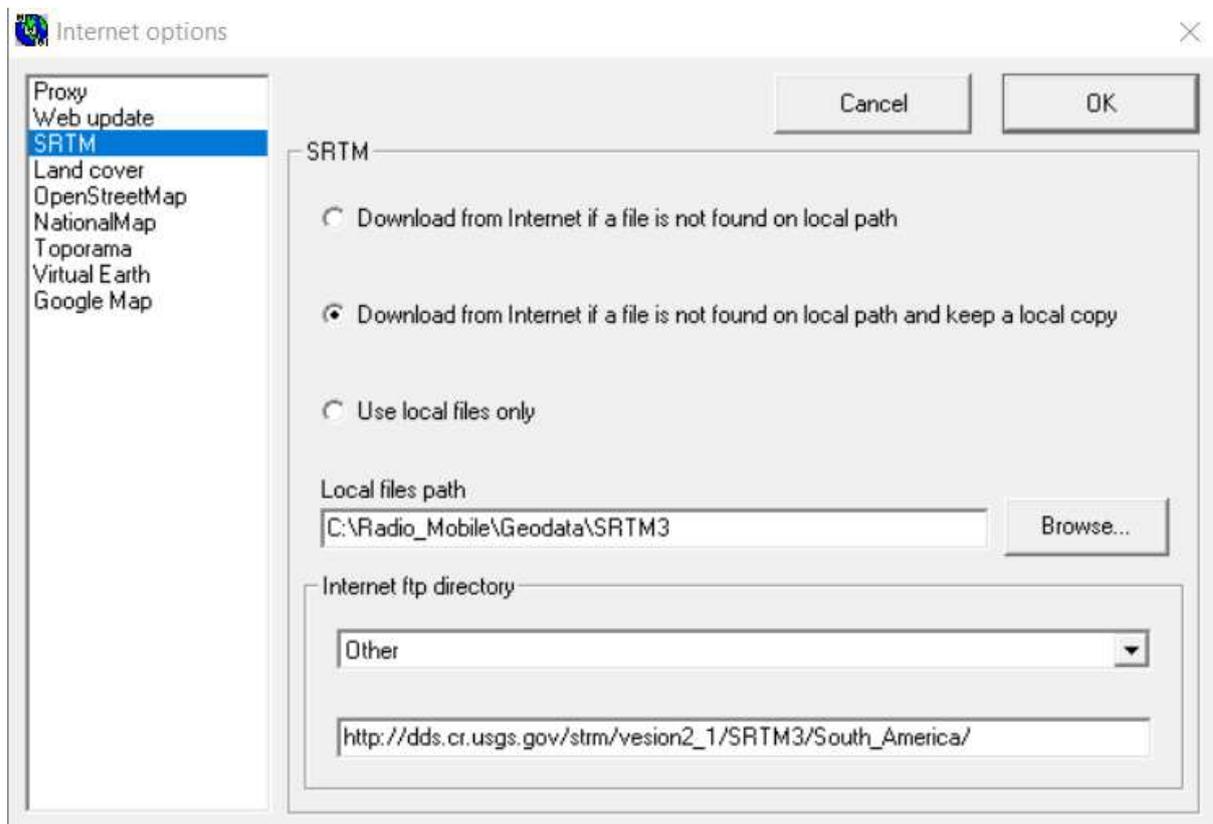
google.com
-----
First read the links below for the terms and conditions of each service,
and if you agree to abide by these proceed.
For the Radio Mobile program to enable access to each of the servers above,
the apostrophes must be removed, and the file saved.
Doing so, you will have access to the services subject to their copyright and usage conditions:
-----
Pour accéder à chacun de ces serveurs il faut enlever l'apostrophe au début de la ligne.
Noter que ce faisant, vous accédez à des services qui sont sujets à des droits d'auteur.
Veuillez consulter les liens suivants pour connaître les conditions qui s'appliquent:
-----
Radyo Mobil yazılımının menüsündeki (Düzeltilmiş resim ekle) bölümünde, yukarıdaki
sunuculardaki haritaları da kullanabilmeniz için, yukarıda sıralanan adreslerin
başında bulunan apostrof (') karakterini silmeniz ve bu dosyayı yine aynı isimle
saklamanız gerekmektedir.
Bu şekilde telif hakkı olan bu servislere de erişme hakkınız olacaktır.
Bu işlemi yaparak söz konusu verileri kullanmanız halinde aşağıdaki adreslerde
bulunan telif hakkı şartlarını kabul etmiş olacaksınız.
-----
http://www.microsoft.com/maps/product/terms.html
http://www.google.com/apis/maps/terms.html
-----

```

Após esse processo, foi executado a versão em inglês `rmweng.exe` da pasta `Radio_Mobile`. Com isso, na aba “Options” e depois em “Internet” para ajustar os parâmetros.

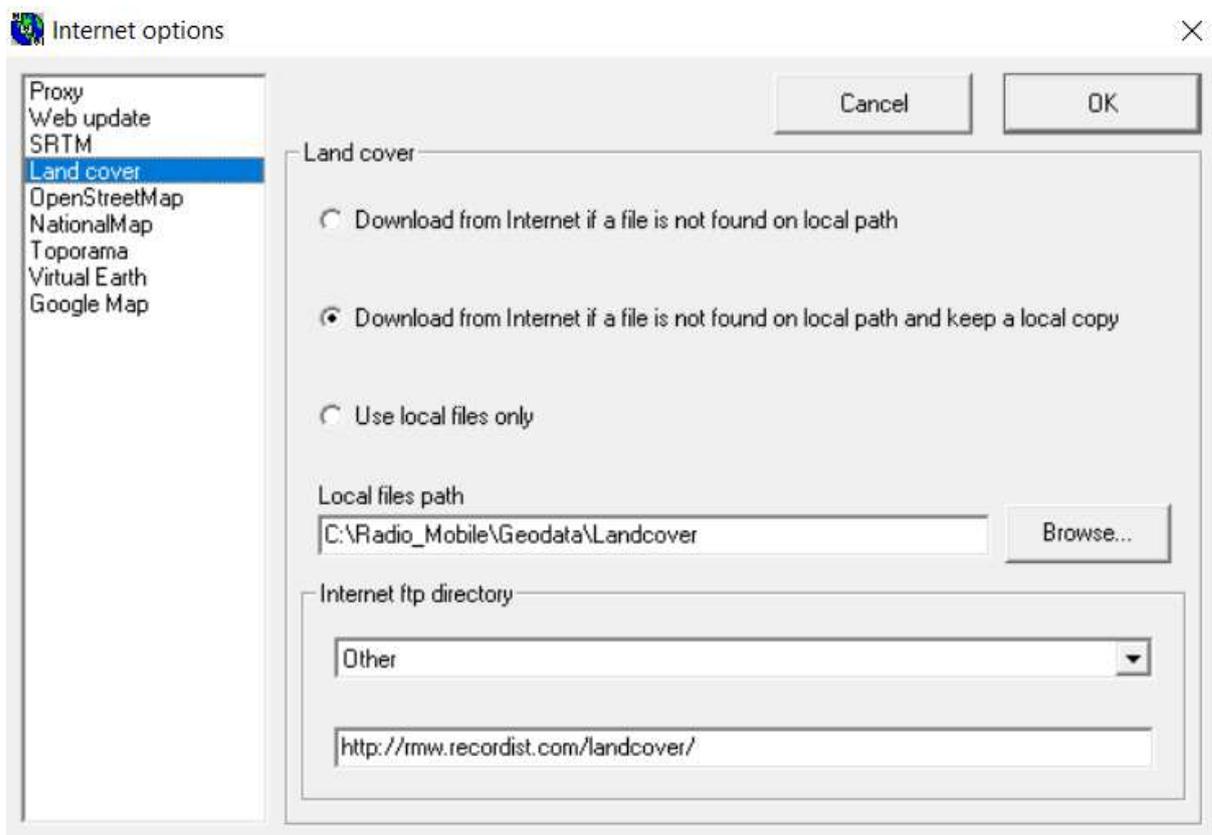
Na Figura A - 6 tem-se a configuração dos dados de relevo SRTM, colocado dentro da pasta SRTM3 criado na pasta Geodata.

Figura A - 6: Configuração do SRTM



Na Figura A - 7, tem-se a configuração dos dados de cobertura do terreno Land cover, colocado dentro da pasta Landcover criado na pasta Geodata. Com isso, na Figura A - 8 tem-se a configuração completa do *Radio mobile*.

Figura A - 7: Configuração do Land cover

Figura A - 8: Configuração completa do *Radio mobile*