



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



**WALCEMIR AGUIAR DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA  
NA PROPAGAÇÃO DE SINAL DE TELEFONIA CELULAR 4G LTE NA  
CIDADE DE MANAUS-AM**

**MANAUS**

**2020**

**WALCEMIR AGUIAR DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA  
PROPAGAÇÃO DE SINAL DE TELEFONIA CELULAR 4G LTE NA CIDADE DE  
MANAUS-AM**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito para obtenção de Título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

**Orientador:** Prof. MSc. Carlos Gomes Fontinelle

**Manaus  
2020**

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

S729a Souza, Walcemir Aguiar de.

Avaliação de influência da precipitação pluviométrica na propagação de sinal de telefonia celular 4G LTE na cidade de Manaus-Am. / Walcemir Aguiar de Souza. – Manaus, 2020.

76 f. : il. Color.

Avaliação de influência da precipitação pluviométrica na propagação de sinal de telefonia celular 4G LTE na cidade de Manaus-Am (Tecnologia em Sistema de Telecomunicações) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, 2020.

Orientador: Prof. MSc. Carlos Gomes Fontinelle

1. Precipitação atmosférica. 2. Propagação de sinal. 3. Tecnologia 4G LTE. 4. Predição de sinal. I. Fontinelle, Carlos Gomes (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.382

---

Elabora por Fc<sup>a</sup>. Amélia Frota, registro n.858 (CRB11)

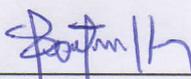
**WALCEMIR AGUIAR DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA  
PROPAGAÇÃO DE SINAL DE TELEFONIA CELULAR 4G LTE NA CIDADE DE  
MANAUS-AM**

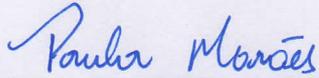
Monografia apresentada ao curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em: 17/01/20, por:

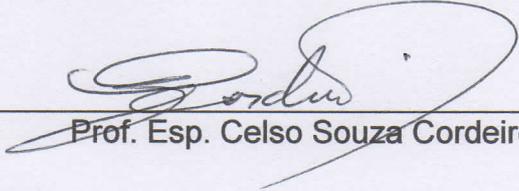
Orientador: \_\_\_\_\_

  
Prof. MSc. Carlos Gomes Fontinelle

1º Examinador: \_\_\_\_\_

  
Prof. MSc. Paula Araújo Marães

2º Examinador: \_\_\_\_\_

  
Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

**Manaus  
2020**

## DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia primeiramente a Deus por ter sempre me guiado e me fortalecido ao longo deste curso.

À minha mãe, Maria Francisca Aguiar da Silva, pelo amor, incentivo, por ser pai e mãe e por acreditar sempre nas conquistas dos meus desafios.

À minha namorada, Valdineia Moura, por me apoiar nos momentos mais difíceis e compreender a importância desta conquista.

À minha filha, Giuliana Aguiar, que me deu um novo sentido à vida para buscar novos horizontes.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que sem Ele nada seria possível.

Posteriormente, agradeço a minha mãe, Maria Francisca, que me ensinou o valor das conquistas por mérito próprio, pela criação, amor incondicional, trabalho, dedicação e honestidade. Serei eternamente grato a ela.

À minha namorada, Valdineia Moura, por me ajudar diretamente, me apoiar nos momentos mais difíceis, compreender a importância dessa conquista e aceitar a minha ausência quando era necessário.

Ao meu Orientador, Professor MSc. Carlos Gomes Fontinelle, pelo empenho, paciência e credibilidade. Muito obrigado por tudo.

Ao meu Coorientador e Diretor, Professor MSc. Nivaldo Rodrigues, pelo empenho, paciência, credibilidade e incentivo. Muito obrigado por tudo.

Aos demais professores, pela paciência e compreensão na hora do aprendizado.

Aos demais familiares e amigos que torceram e acreditaram na conclusão deste curso. Fico muito grato.

Aos amigos da empresa onde trabalho, que me ajudaram, realizando atividades e viajando no meu lugar quando era necessário, pelas agradáveis lembranças que serão eternamente guardadas no coração. Muito obrigado.

## RESUMO

De acordo com Fisch (2002), a Região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2300 mm, embora tenha regiões que o total anual atinge 3500 mm. Em seu trabalho, Figueroa e Nobre (1990), utilizaram 226 estações pluviométricas para identificar a distribuição espacial e temporal das chuvas na região Amazônica. Essa Pesquisa identificou detalhadamente o período do ano onde as chuvas ocorrem com maior frequência na região, por sua vez o período de maior frequência de chuvas foi identificado entre os meses de novembro e março.

Manaus, está localizada na parte central da Amazônia, região que apresenta altas taxas de precipitações superiores a 600 mm. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar os efeitos dessas precipitações atmosféricas na propagação de sinal da tecnologia celular 4G LTE nesta cidade, para identificar áreas de baixa cobertura do sinal de telefonia celular, pois essas falhas são decorrentes de chuvas rápidas, chuvas fortes ou chuvas de longa duração, fenômenos naturais que acontecem frequentemente no período chuvoso da Região Amazônica. Para atingir este objetivo, foi utilizada a seguinte metodologia: utilizou-se um software de predição de sinal que foi instalado em notebook para coletar esses dados recebidos pelo equipamento de acesso à rede, um modem habilitado para acesso à Web e outros serviços, e um Scanner de Frequência para coletar o sinal bruto, ou seja, a onda eletromagnética propriamente dita emitida pelas Estações Rádio Base (ERB's) instaladas na cidade de Manaus em diversos pontos estratégicos.

Posteriormente, foi realizado um comparativo das medições realizadas no ambiente com bastante árvores e poucas edificações com condições climáticas opostas, chuva e sol intensos. O local da primeira análise comparativa situa-se no bairro de Santa Etelvina, escolhido por análise de imagens aéreas da cidade de Manaus com o Software *Google Earth*. O segundo local escolhido foi o bairro de Cachoerinha, onde há bastante edificações antigas e é pouco arborizado, seguindo os mesmos critérios anteriores. Com o comparativo, pôde-se verificar a atenuação que ocorreu no período de chuva e melhorar a cobertura de sinal de telefonia celular nesses períodos que ocorrem frequentemente na cidade.

**Palavras-chave:** Precipitação Atmosférica; Propagação de Sinal; Tecnologia 4G LTE; Predição de Sinal.

## ABSTRACT

According to Fisch (2002), the Amazon Region has an average rainfall of approximately 2300 mm, although it has regions where the annual total reaches 3500 mm. In their work, Figueroa and Nobre (1990) used 226 rainfall stations to identify the spatial and temporal distribution of rainfall in the Amazon region. This survey identified in detail the period of the year where rainfall occurs most frequently in the region, while the period of highest rainfall was identified between November and March.

The city of Manaus, is located in the central part of the Amazon, Region that have high precipitation rates over 600 mm. This work was developed with the objective of analyzing the effects of these atmospheric precipitations on the signal propagation of the LTE 4G technology in the city, to identify areas of low coverage, since these failures are due to rapid rains, heavy rains or long term rainfall. Natural phenomena that frequently occur in the rainy season of the Amazon Region.

Signal Prediction software installed on a notebook was used to collect this data received by the network access equipment, a modem enabled for web access and other services, and a Frequency Scanner was also used to collect the Gross Signal, the electromagnetic wave itself emitted by the Base Radio Stations (ERB) installed by the city of Manaus in several strategic points.

Subsequently, a comparison was made of the measurements made in the environment with enough trees and few buildings with opposite climatic conditions, intense rains and intense sun. The chosen location of the first comparative analysis is located in the neighborhood of Santa Etelvina, chosen for analysis of aerial images of the city of Manaus with the Free Software Google EARTH. The second location chosen for the comparative analysis was the neighborhood of Cachoerinha, where there are quite old buildings and not much wooded and following the same criteria, opposite climatic conditions, intense rains and intense sun. With the comparative, we can verify attenuation that occurred in the rainy season and improve the coverage in those periods that frequently occur in the city.

**Keywords:** LTE, Attenuation, Atmospheric Precipitation, Signal Spread, Prediction Software.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução das Tecnologias de Comunicação Móvel .....	26
Figura 2: Software de Predição Genex Probe .....	29
Figura 3: Tela Inicial do Software de Predição Genex Probe .....	30
Figura 4: Distribuição da Precipitação das Chuvas na Amazônia .....	32
Figura 5: Enfraquecimento do sinal em pequena e larga escala.....	34
Figura 6: Reflexão de uma Onda Eletromagnética.....	35
Figura 7: Enfraquecimento do sinal em pequena e larga escala.....	35
Figura 8: Atenuação Mediana no Espaço Livre.....	40
Figura 9: Fator de Correção Garea para diferentes tipos de Terrenos.....	41
Figura 10: Etapas de consolidação do projeto .....	42
Figura 11: Quadros e Slots de Tempo .....	44
Figura 12: Scanner de Frequência PCTel. ....	49
Figura 13: Drive Test na Cidade de Afuá - PA .....	51
Figura 14: Esquema Básico dos Equipamentos para Drive Test .....	52
Figura 15: Smartphone com Software de Predição Instado .....	53
Figura 16: Rota de Qualidade Pré-Determinada .....	54
Figura 17: Rota de Qualidade Adicionada ao Software de Coleta Genex Probe .....	54
Figura 18: Local bastante arborizado .....	56
Figura 19: Drive test com níveis de RSSI na região arborizada com sol.....	57
Figura 20: Valores de RSSI máximos e mínimos.....	58
Figura 21: Drive test com níveis de RSSI na região arborizada com chuva.....	59
Figura 22: Valores de RSSI máximos e mínimos .....	59
Figura 23: Local bastante edificado.....	60
Figura 24: Drive test com níveis de RSSI na região edificada.....	61
Figura 25: Valores de RSSI máximos e mínimos.....	61
Figura 26: Drive test com níveis de RSSI na região edificada com chuva. ....	62
Figura 27: Valores de RSSI máximos e mínimos.....	63
Figura 28: Média RSSI em Ambiente Arborizado.....	64
Figura 29: Distancia da ERB para o local de coleta de dados. ....	65
Figura 30: Local Escolhido para verificação de sinal com sol. ....	66
Figura 31: Local Escolhido para verificação de sinal com chuva .....	66

Figura 32: Média RSSI em Ambiente Arborizado.....	67
Figura 33: Distancia da ERB para o local de coleta de dados. ....	69
Figura 34: Local Escolhido para verificação de sinal com sol .....	69
Figura 35: Local Escolhido para verificação de sinal com chuva .....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo de Frequências .....	44
Tabela 2: Tecnologias Suportada pelo Modem Huawei E392.....	48
Tabela 3: Tabela com Valores da Análise dos dados Coletados .....	64
Tabela 4: Tabela com Valores da Análise dos dados Coletados .....	68

## ANEXOS

Anexo 1: Conteúdo de um Log de Drive Test.....	76
--	----

## LISTA DE SIGLAS

1G	Telefonia Móvel de 1ª Geração
2G	Telefonia Móvel de 2ª Geração
3G	Telefonia Móvel de 3ª Geração
4G	Telefonia Móvel de 4ª Geração
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
CDMA2000	<i>Code Division Multiple Access 2000</i>
CMDI	Campus Manaus Distrito Industrial
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
EVDO	<i>Evolution-Data Optimized</i>
ERB	Estação Rádio Base
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
GHz	Giga-Hertz
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSPA+	<i>High Speed Packet Access Plus</i>
IFAM	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
ITU	International Telecommunication Union
IP	<i>Internet Protocol</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MME	<i>Mobility Management Entity</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TD-SCDMA	<i>Time Division Synchronous Code Division Multiple Access</i>
VOIP	Voice Over Internet Protocol
VOLTE	Voice Over Long Term Evolution

WCDMA *Wide-Band Code Division Multiple Access*

WiMAX *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	MOTIVAÇÃO	19
1.4	OBJETIVOS	19
1.4.1	OBJETIVO GERAL	19
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>21</b>
2.1	A TELEFONIA MÓVEL	21
2.2	TELEFONIA MÓVEL DE PRIMERA GERAÇÃO (1G)	21
2.3	TELEFONIA MÓVEL DE SEGUNDA GERAÇÃO (2G)	22
2.3.1	DIGITAL ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM (D-AMPS)	22
2.3.2	GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS (GSM)	23
2.3.3	CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA)	23
2.3.4	TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS (TDMA)	23
2.4	TELEFONIA MÓVEL DE TERCEIRA GERAÇÃO (3G)	24
2.4.1	WIDEBAND CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (W-CDMA)	25
2.4.2	CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA 2000)	25
2.5	TELEFONIA MÓVEL DE QUARTA GERAÇÃO (4G)	25
2.5.1	LONG TERM EVOLUTION (LTE)	26
2.5.2	WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WIMAX)	26
2.6	DRIVE TEST (DT)	27
2.7	FERRAMENTA DE PREDIÇÃO	28
2.8	SOFTWARE GENEX PROBE	28
2.9	LICENÇA DO PRODUTO	29
2.10	TELEFONIA MÓVEL NA AMAZÔNIA	30
2.11	A CLIMATOLOGIA DA AMAZÔNIA	31
2.12	PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE RADIO	33
2.12.1	MECANISMOS BÁSICOS DA PROPAGAÇÃO	34
2.13	OS EFEITOS DA CHUVA NA TRANSMISSÃO DE MICRO-ONDAS	36
2.14	OS EFEITOS DA VEGETAÇÃO NA TRANSMISSÃO DE MICRO-ONDAS	37
2.15	MODELOS DE PROPAGAÇÃO DE MICRO-ONDAS	38
2.15.1	MODELO DE LONGLEY-RICE	38
2.15.2	MODELO DE OKUMURA	39
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>42</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DAS REDE LTE ANALISADA	43
3.1.1	TIME DIVISION DUPLEX (TDD)	43
3.1.2	MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO ADAPTATIVA	45
3.1	PROCEDIMENTOS PARA MEDIÇÕES E COLETA DE DADOS EM CAMPO	46
3.2	INSTRUMENTOS UTILIZADOS:	47
3.2.1	NOTEBOOK LENOVO B490	47
3.2.2	MODEM HUAWEI E392 LTE	47
3.2.3	SCANNER PCTEL SEEGULL EX FLEX COM GPS INTEGRADO	48
3.2.4	ANTENA EXTERNA (FREQUÊNCIAS 698 MHZ – 3 GHZ)	49
3.2.5	CABO USB	49
3.2.6	INVERSOR DE TENSÃO VEICULAR 12V DC PARA 127V AC	50
3.3	EXECUÇÃO DE DRIVE TEST NA TELEFONIA DE QUARTA GERAÇÃO	50
3.3.1	ROTAS DE DRIVE TEST	53
3.3.2	TIPOS DE TESTES	55
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56

4.1 ESCOLHA DOS LOCAIS PARA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE DRIVE TEST .....	56
4.1.1 LOCAL ARBORIZADO COM POUCAS EDIFICAÇÕES .....	56
MEDIÇÕES REALIZADAS EM DIA ENSOLARADO .....	57
MEDIÇÕES REALIZADAS EM DIA CHUVOSO .....	58
4.1.2 LOCAL NÃO ARBORIZADOS COM MUITAS EDIFICAÇÕES .....	60
MEDIÇÕES REALIZADAS EM DIA ENSOLARADO .....	60
MEDIÇÕES REALIZADAS EM DIA CHUVOSO .....	62
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS TESTE .....	63
4.2.1 ANÁLISE COMPARATIVA DO AMBIENTE ARBORIZADO .....	63
4.2.2 ANÁLISE COMPARATIVA DO AMBIENTE EDIFICADO .....	67
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Cavalcanti *et al.* (2018), a tecnologia 4G nasceu para atender demandas de maior velocidade de transferência de dados, menores atrasos de transmissão e recepção e maior capacidade global para atender mais usuários com melhor qualidade.

No início de 2004, o Projeto *Long Term Evolution* (LTE) foi iniciado pela *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) como sucessora ao novo padrão de internet banda larga móvel, também conhecida como telefonia de 4ª Geração. Sua abordagem é totalmente diferente que a maioria das redes de banda larga móvel, pois a maioria das operadoras no mundo utilizam o *Frequency Division Duplex* (FDD) e seu principal objetivo é trafegar dados. O LTE foi desenvolvido sobre rede totalmente *Internet Protocol* (IP), com comutação de pacotes ao invés de comutação por circuitos, capacidade e velocidade maiores que a tecnologia de comunicação móveis de terceira geração, através de novas técnicas de modulação, antenas inteligentes, sistemas de rede auto organizável e com capacidade de aumentar a quantidade de usuários na rede em relação ao padrão existente.

No Brasil, a primeira rede LTE foi implantada em 2011, em Brasília, pela Operadora TV Filme Brasília Serviços de Telecomunicações Ltda, com nome comercialmente difundido como SKY, que até o momento oferecia apenas serviços de TV por assinatura via satélite em todo o território nacional

Como toda rede móvel, existem interferências de causas naturais e artificiais que causam diversos problemas na propagação e qualidade do sinal. Na Região Amazônica, o tempo muda frequentemente, há momento de sol intenso e depois alguns minutos chuva intensa, e devido ao tempo da Região Amazônica que muda constantemente, esses fenômenos causam interferência na propagação do sinal principalmente em áreas urbanas com grande concentração de casas e também em locais arborizados que comumente temos em Manaus devido à sua localização.

Neste contexto, o objetivo do trabalho é comparar e demonstrar que a precipitação pluviométrica causa uma atenuação na propagação do sinal na faixa de 2,6 GHz, que é utilizada para a propagação dos sinais da tecnologia LTE no Brasil. Será utilizada uma ferramenta de Predição de Sinal para verificar os níveis em determinadas regiões escolhidas pela sua localização próximo a ambientes arborizados e ambientes com bastantes edificações para a verificação das atenuações com clima de chuva e sol.

## 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Espejo *et al.* (2016) afirma que a chuva é um fenômeno meteorológico com uma estrutura complexa, devido a sua grande variação no espaço e tempo, pode ser dividida em convectiva ou estratiforme. A chuva convectiva cai em forma moderada ou intensa com rápida mudança de intensidade em um período de tempo relativamente curto e a estratiforme é geralmente fraca e distribuída em uma área de maior alcance.

O efeito da chuva no enlace de transmissão é muito relevante, sendo um dos fatores principais na atenuação de sinais em Rádio Frequência (RF). A presença de água ao longo de um enlace de comunicações causa absorção e espalhamento da energia da onda transmitida, tendo como resultado uma atenuação no sinal e, em muitos casos, a interrupção da comunicação entre transmissor e receptor.

O Portal G1 Amazonas (2017), com informação colhidas no Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) mostra que de dezembro de 2016 a janeiro de 2017 foram os meses mais chuvosos dos últimos cinco anos em Manaus e o período mais chuvoso na cidade engloba os meses de dezembro a abril. Ainda segundo o Instituto, Manaus teve volume de chuvas de 518,8 mm somente em dezembro de 2016, enquanto o normal seria entre 179 e 293 mm, praticamente o dobro do previsto para o mês. O mês de janeiro de 2017 apresentou 402,1 mm de chuvas e a previsão para este mês seria de 235 a 350 mm.

Diante desse cenário que ocorre constantemente, as transmissões de RF sofrem grande atenuação na propagação do sinal no período da chuva, estabeleceu-se a seguinte pergunta norteadora:

**Qual é o impacto da precipitação pluviométrica na propagação de sinal na tecnologia 4G LTE na cidade de Manaus?**

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A cidade de Manaus, localizada no meio da Floresta Amazônica, sofre com as chuvas que caem na cidade no período do inverno que é dos meses de dezembro a abril. Nesse período de cinco meses, a chuva cai constantemente e o acumulado mensal pode chegar próximo da marca dos 600 mm e o acumulado para o período do inverno pode ultrapassar a marca de 2300 mm.

Segundo Espejo et al. (2016), a interferência é um potencial problema para os sistemas de rádio comunicação, é usualmente responsável pela degradação do sinal, podendo ser descrita pela relação entre as potências dos sinais desejado e interferente recebidos por um determinado usuário. Diversos fatores podem ser responsáveis pela interferência em um sistema de telecomunicações. Entre eles está a chuva.

Em um sistema de comunicação por RF com a presença de chuva, cada gota interagindo com a onda eletromagnética ocasiona um espalhamento da energia em diversas direções, o que conseqüentemente pode afetar e até mesmo interferir em outros sistemas espalhados pela cidade. Assim, pode-se afirmar que o planejamento das atuais redes LTE para a região da Amazônia, torna-se dependente da atenuação e da interferência introduzida pela chuva, que pode inclusive, delimitar a disponibilidade da rede.

O tema de estudo é relevante porque a precipitação pluviométrica na cidade de Manaus é frequente e ocorrem em qualquer horário, e o estudo do impacto dessas precipitações na propagação de sinal eletromagnético em zonas densamente povoadas é de suma importância para o planejamento de novas ERB's, impactando diretamente no planejamento econômico das empresas de telecomunicações e no aspecto social, pois os clientes estarão satisfeitos com o desempenho e cobertura da rede e não solicitaram visitas técnicas recorrentes para verificação de problemas de coberturas, por sua vez, tornando o sistema mais eficiente, sustentável e aproximando pessoas e negócios.

### **1.3 MOTIVAÇÃO**

A motivação para a elaboração deste trabalho surgiu ao se verificar que, quando havia fortes chuvas na cidade de Manaus, o sinal de telefonia móvel de quarta geração sofria uma redução na recepção, chegando até mesmo a impossibilitar a comunicação com a Estação Rádio Base (ERB) mais próxima, onde o receptor estava instalado.

Mediante esses fatos, foi coletado o sinal de RF por um software de predição em ambientes opostos para ser realizado um comparativo entre as informações coletadas e verificar qual a atenuação média que a tecnologia LTE sofre durante esses fenômenos climáticos.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVO GERAL**

- Avaliar e comparar os níveis de sinais eletromagnéticos com e sem a influência da precipitação eletromagnética da Tecnologia 4G LTE em ambientes arborizados e bastante edificadas na cidade de Manaus e identificar possíveis atenuações que as transmissões de RF sofrem.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Pesquisar os aspectos físicos das gotas de chuvas, tipos de interferência da onda eletromagnética e a quantidade de chuva acumulada na cidade de Manaus;
- Analisar as características de transmissão da tecnologia LTE e a interferência na propagação de sinal;
- Executar os testes nos locais pré-definidos por análise de imagens aéreas da cidade de Manaus, observando locais onde há predominância de árvores, edificações e, principalmente, instalação de ERB's;
- Desenvolver métodos de análises dos arquivos coletados em campo, para uma melhor compreensão das interferências causadas pela chuva;
- Demonstrar a atenuação e interferência causada pela chuva na propagação do sinal da tecnologia LTE.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 5 capítulos para o melhor entendimento de todo o processo de desenvolvimento para a análise e obtenção dos resultados esperados.

O Capítulo 1 apresenta a formulação do problema, a justificativa da realização do trabalho, motivação, objetivo geral e objetivos específicos.

O capítulo 2 introduz o embasamento sobre a evolução da telefonia móvel da primeira geração mais atual, otimização de rede móvel com software de predição, a climatologia da Amazônia e a propagação de ondas eletromagnéticas necessária para análise do trabalho proposto.

No capítulo 3, será apresentada toda a metodologia empregada para obtenção das informações necessárias para análise do problema e locais escolhidos para obtenção das informações

O capítulo 4 descreve os resultados obtidos após análise das informações coletada em campo e as dificuldades enfrentadas durante o projeto.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. A TELEFONIA MÓVEL**

O surgimento da telefonia móvel possibilitou uma grande evolução na forma de comunicação entre as pessoas. Quando a primeira rede surgiu no fim da década de 1970, era chamada apenas de telefonia móvel, pois ainda não havia difundido-se o conceito de célula.

No início da década de 1980 houve a popularização da telefonia móvel nos Estados Unidos da América, em vários países da Europa e no Japão. Cada país possuía tecnologia diferente que impossibilitava a interoperabilidade entre as redes, pois cada país adaptou a tecnologia às suas necessidades.

No Brasil, a telefonia móvel começou no início da década de 1990 com a abertura do mercado para o capital privado que obrigou as empresas estatais a realizarem grandes investimentos no setor de comunicação móveis e impulsionou o crescimento da telefonia móvel. Desde o surgimento da telefonia móvel, a tecnologia passou por quatro evoluções e atualmente no Brasil está sendo implantado o sistema LTE, também conhecido como telefonia de quarta geração (4G).

### **2.2 TELEFONIA MÓVEL DE PRIMERA GERAÇÃO (1G)**

A telefonia móvel de primeira geração utilizou a tecnologia *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS) que utiliza sinal analógico para a comunicação entre a Estação Radio Base (ERB) e o telefone celular. O sinal analógico diferentemente do sinal digital poderá assumir qualquer valor. Esta característica faz com que exista muito ruído na transmissão, pois o ruído é interpretado como parte do sinal. No digital, ele é transmitido no formato binário, ou seja, assume valor zero ou um e algo diferente deste formato é descartado, resultando em uma transmissão de qualidade superior e menor ruído.

O AMPS operava na faixa de 800 MHz Essa faixa é a mesma usada nos Estados Unidos e no Brasil. Atualmente, esta tecnologia está desativada, pois a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) permitiu o uso das bandas A e B até junho de 2008.

A tecnologia AMPS utilizava 832 canais full-duplex. Cada par de canal utilizava dois canais simplex: um para transmissão e outro para recepção. Cada canal possuía

30 kHz de largura de banda e as ondas de rádio da frequência utilizada pela tecnologia tendem a propagar-se em linha reta, são absorvidas pela vegetação e refratam nos prédios que, dependendo do local onde as ondas estavam se propagando, geravam uma distorção no sinal.

Os 832 canais utilizados eram divididos da seguinte forma:

- a) Canais de controle (gerencia o sistema);
- b) Localização (avisa o aparelho sobre chamadas recebidas);
- c) Acesso (configuração de chamadas e atribuição de canais) e;
- d) Dados (voz, fax ou dados).

Segundo Tanenbaum (2006) no AMPS, cada aparelho possuía um número de série de 32 bits e um número de telefone de 10 dígitos.

## **2.3 TELEFONIA MÓVEL DE SEGUNDA GERAÇÃO (2G)**

A segunda geração de telefonia móvel era digital, mas, como a primeira geração, não havia padronização e quatro sistemas foram desenvolvidos:

- D-AMPS
- GSM
- CDMA
- TDMA

### **2.3.1 DIGITAL ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM (D-AMPS)**

O sistema D-AMPS é totalmente digital, foi descrito no padrão internacional como IS-54 e seu sucessor como IS-136. Esse sistema foi cuidadosamente desenvolvido para coexistir com o padrão anterior, o AMPS, de tal forma que os aparelhos móveis de primeira geração e segunda geração pudessem operar simultaneamente na mesma célula.

O sinal de voz era captado pelo microfone e digitalizado, posteriormente era compactado por um circuito chamado de *Vocoder* com o objetivo de reduzir o número de bits transmitidos no enlace entre o telefone móvel e a ERB. Conseqüentemente, poderia compartilhar a mesma frequência para três usuários ao mesmo tempo, utilizando multiplexadores por divisão de tempo.

### 2.3.2 GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS (GSM)

Em diversos países, o sistema de comunicação GSM era utilizado como telefonia de segunda geração e possuía semelhanças com o sistema D-AMPS. Devido a sua alta capacidade, tornou-se o padrão mais utilizado no mundo. Possuía cerca de 124 pares de canais simplex e cada canal possui 200 kHz (no D-AMPS cada canal possuía apenas 30 kHz) de largura de faixa e é possível a utilização de 8 usuários (no D-AMPS cada canal suportava apenas 3 usuários) separados em cada canal utilizando a multiplexação por divisão do tempo. A recepção e transmissão não ocorrem no mesmo slot de tempo.

### 2.3.3 CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA)

O sistema CDMA é totalmente diferente em relação aos outros sistemas descritos anteriormente. Em vez de dividir a faixa de frequência em alguns canais, o sistema permite que cada estação transmita sobre todo o espectro de frequência durante todo o tempo. As transmissões são separadas com o uso da teoria de codificação. Essa tecnologia foi baseada no *Spread Spectrum*, uma técnica de codificação desenvolvida pelas Forças Armadas dos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial e tinha como objetivo a transformação das informações a serem transmitidas em um sinal parecido com um ruído radioelétrico evitando assim a interceptação de informações pelas forças inimigas.

No sistema CDMA cada ligação recebe um código de identificação que a estação rádio base utiliza para identificar e direcionar os sinais no espectro que lhe diz respeito.

### 2.3.4 TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS (TDMA)

TDMA foi o primeiro sistema digital utilizado. É simples e possui poucos recursos em relação aos outros sistemas. Possui compatibilidade com o AMPS em largura de faixa de canal (30 kHz), mas com a vantagem de possui uma capacidade e desempenho superior a tecnologia anterior. O sistema TDMA utiliza os padrões IS-54 e IS-136 e possui as seguintes características principais:

- Largura de faixa de canal de 30 kHz;
- Frequência do enlace direto de 869 a 894 MHz;

- Frequência de enlace reverso de 824 a 849 MHz;
- Largura de banda disponível de 25 MHz (894 a 869 MHz);
- Espaçamento entre os canais de enlace de 45 MHz;
- O total de número de canais em comparação com o sistema AMPS é de 2.496.

O IS 54 tem as características iguais ao IS-136, exceto pelo fato do IS-136 possuir um canal de controle digital (DCC). Além do acréscimo na taxa de sinalização, o DCC oferecia algumas capacidades como transferência de mensagens curtas ponto a ponto, mensagens de broadcast, endereçamento de grupo, grupos de usuários privados, estruturas hierárquicas de células e canais divididos em slots para economizar energia.

## 2.4 TELEFONIA MÓVEL DE TERCEIRA GERAÇÃO (3G)

Em 1992, a International Telecommunication Union (ITU) apresentou um projeto chamado de IMT-2000 que tinha três objetivos:

- Ano 2000 em que o sistema deveria estar ativo;
- frequência que veria operar (Espectro de 2 GHz);
- Largura de Banda disponível (Banda de 2 MHz).

Esses objetivos não foram alcançados devido a três aspectos:

- Não havia nada implantado no ano de 2000;
- Nenhum governo reservou o espectro de 2GHz recomendado pela ITU;
- O ITU reconheceu que a largura de banda de 2Mbps não era viável para usuários com mobilidade.

A terceira geração de telefonia móvel tinha como objetivo oferecer serviços de dados e voz totalmente digitais com altas taxas de transmissão. Esta tecnologia visa prestar os seguintes serviços: Internet banda larga, TV no celular, jogos em grupo, videoconferência e *m-commerce*.

A ITU previu uma única tecnologia mundial para o IMT-2000, de forma que os fabricantes desenvolvessem dispositivos que pudessem ser vendidos e utilizados em qualquer parte do mundo e em qualquer rede que disponibilizasse redes de terceira geração.

Várias propostas foram realizadas. A seguir, descreve-se apenas as duas principais.

### **2.4.1 WIDEBAND CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (W-CDMA)**

O W-CDMA foi proposto pela Ericsson, empresa sediada na Suécia. Esse sistema utiliza um espectro por dispersão de sequência direta, uma largura de banda de 5MHz e foi desenvolvida para ter interoperabilidade com redes GSM, mas não apresentava compatibilidade retroativa com o sistema GSM. Esse sistema foi implantado pela União Europeia. Posteriormente, foi chamado de UMTS.

O padrão Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) foi desenvolvido para ser uma solução integrada para aspectos de transmissão de voz e dados na telefonia de terceira geração e possibilitar um uso efetivo de banda larga móvel. O padrão UMTS foi desenvolvido pelo *Third Generation Partnership Project* (3GPP). Utiliza o W-CDMA como interface de rádio e possibilita o menor custo por bit transmitido para taxas de bits elevadas, tornando-o a melhor opção para grandes volumes de dados e grande número de usuários.

### **2.4.2 CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA 2000)**

O CDMA 2000 foi proposto pela Qualcomm, empresa norte-americana sediada na Califórnia. Esse sistema também foi desenvolvido com o espectro de dispersão de sequência direta, basicamente uma extensão do IS-95 e apresentava compatibilidade retroativa. Utilizava uma largura de banda de 5MHz, mas seu desenvolvimento não incluía a compatibilidade com o sistema GSM, ou seja, não realizava handoff para células GSM e nem para os sistemas D-AMPS.

## **2.5 TELEFONIA MÓVEL DE QUARTA GERAÇÃO (4G)**

A telefonia móvel de quarta geração é uma tecnologia de transmissão de dados baseada no padrão IP, o principal protocolo utilizado na Internet. Foi desenvolvida pelo ITU para substituir a telefonia de terceira geração e prever taxas de transmissão de dados de no máximo 100Mbps, pois atualmente a transmissão de dados é mais necessária que a transmissão de voz. Mantém compatibilidade com os sistemas anteriores, tais como: *WCDMA* e *GSM*.

A telefonia de quarta geração dá prioridade ao tráfego de dados, permitindo o tráfego em duas vias, mas existe a possibilidade de tráfego de voz sobre essa tecnologia, tais como: *Voice Over Internet Protocol* (VoIP) e *Voice Over Long Term*

*Evolution (VoLTE)*. Para essa tecnologia foi desenvolvida dois padrões concorrentes: o *LTE* e o *Wimax*.

### 2.5.1 LONG TERM EVOLUTION (LTE)

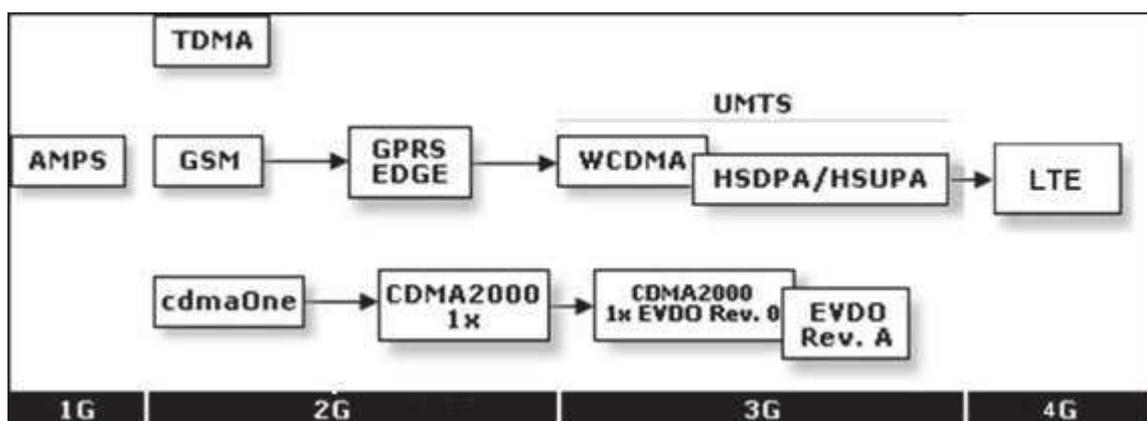
O Padrão LTE foi desenvolvido pelo 3GPP. Este comitê uniu forças para desenvolver essa tecnologia com o objetivo de aumentar a taxa de transferência, diminuir a latência e aumentar a eficiência espectral.

Inicialmente foi desenvolvida para disponibilizar apenas serviços de dados, com altas taxas de transferência chegando a 100 Mbps no *downlink* e 50 Mbps no *uplink*, disponibilizando uma experiência para o usuário com mobilidade.

Este padrão foi desenvolvido para fornecer tráfego na camada 3 (três) do modelo OSI, ou seja, transferência de dados ponto a ponto baseado em comutação de pacotes (IP) com QoS e integrou-se com outras tecnologias disponíveis como a *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA)* e a *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)* para alcançar os objetivos propostos pelo comitê desenvolvedor deste padrão.

Abaixo, evolução da tecnologia de comunicações móveis desde a primeira geração até a quarta geração, tecnologia LTE utilizada atualmente pela grande maioria das empresas.

**Figura 1:** Evolução das Tecnologias de Comunicação Móvel



Fonte: Teleco, 2017.

### 2.5.2 WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WIMAX)

O Padrão WIMAX foi desenvolvido pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. É um padrão de rede sem fio para disponibilizar acesso à banda

larga na última milha (*last mile*) para usuários residenciais e corporações. É um padrão da família IEEE 802 e utiliza o OFDMA para realizar a interface de rádio entre estação e usuário.

Este padrão de acesso móvel foi desenvolvido para obter-se escalabilidade, QoS, acesso à distância de até 6 km sem visada direta através de mecanismo de reflexão de sinal, acesso de milhares de usuários por célula através do controle de MAC e tráfego de vídeo e voz de alta qualidade. Foi desenvolvido com base em recursos de priorização, controle/garantia de banda e QoS em todos os equipamentos disponíveis para o funcionamento desta rede, ou seja, desde o nó central até o usuário final.

## 2.6 Drive Test (DT)

O *Drive Test* é realizado dirigindo-se um veículo ou não que contém uma rota determinada com aparelhos que estão ligados nas redes celulares independentes de sua tecnologia (GSM, CDMA, UMTS, LTE, etc.). Podendo utilizar qualquer veículo como meio de transporte, motocicleta, barco, bicicleta e até mesmo andando. O objetivo principal deste teste é coletar os dados. Suas informações coletadas *in loco* podem ser visualizadas e analisadas em tempo real, permitindo uma monitoração da performance da rede em campo. Os dados de todos os equipamentos são agrupados pelo software de coleta e armazenados em um ou mais arquivos de saída, também conhecido como “log”.

Os principais tipos de Drive Test são para:

1. Análise de performance;
2. Integração de novos sites e alteração de parâmetros de *sites* existentes;
3. Intercomunicação de ERBs entre RNCs e BSCs;
4. Verificação de setores invertidos;
5. Verificação da qualidade do sinal.

Os testes de Análise de Performance são os mais comuns e realizados geralmente em *clusters* (agrupamento de células), ou seja, área com alguns *sites* de interesse. Podem também ser realizados em situações pontuais como, por exemplo, para atender uma reclamação de cliente.

Nos testes de integração de novos *sites* é para verificação da cobertura, handoff, acessibilidade, *throughput* e outras especificações.

No teste de intercomunicação de ERBs entre RNCs são para verificação do handoff entre as ERBs na borda da RNC, ou seja, verificar que se está havendo comunicação entre as ERBs de RNCs diferentes.

Nos testes de verificação de setores invertidos são para visualizar *in loco* e no software de predição se há inversão de setores e erros de azimutes que possam causar problemas à rede, entre outros testes.

## **2.7 Ferramenta de Predição**

A dinâmica de funcionamento das diversas ferramentas existentes no mercado é muito semelhante, sendo o aprimoramento do algoritmo de predição o maior diferencial entre elas. As ferramentas trabalham com dados reais da rede celular, devem ser fornecidos parâmetros como, a localização geográfica da torre (latitude e longitude), altura do sistema irradiante, modelo e ganho das antenas, azimute das antenas, potência de transmissão, modelo de ambiente (área rural, urbana, urbana densa), entre outros. No projeto de um sistema celular é utilizado um mapa com o relevo da região informada, sobre esse mapa são plotados os níveis de sinais coletado no momento em que o teste é realizado, esses níveis de sinais são representados por cores e informam no mapa o nível de sinal correspondente em determinada área.

## **2.8 Software Genex Probe**

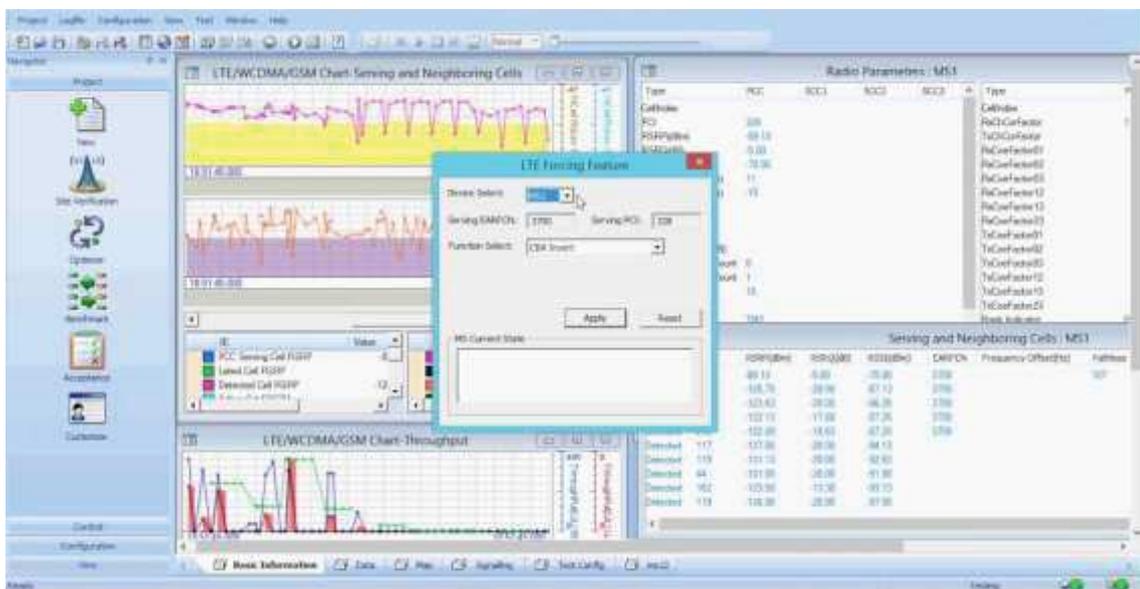
Amplamente utilizado em muitas das maiores redes do mundo, o Software Genex Probe, é desenvolvido pela empresa Huawei com sede em Shenzhen, na China.

A ferramenta de teste é projetada para detectar problemas, monitorar, manter e aperfeiçoar o desempenho da rede de voz e dados sem fio - tudo em tempo real e também através da análise dos arquivos de Logs gerado pela Ferramenta, que tem como objetivo auxiliar na otimização, ampliação e correção de redes móveis ao redor do Mundo, Mostrar os eventos positivos e negativos em tempo real e também salva esses eventos em um arquivo chamado de log Software avalia QoS / QoE e garante a integração perfeita com sistemas de serviço GSM, WCDMA, HSPA, EVDO, WiMAX e LTE existentes.

Suporta todos os principais padrões e tecnologias sem fios e está disponível em muitas variações licenciáveis, por exemplo: GSM/GPRS/EDGE, WCDMA/HSPA/HSPA+, CDMA2000 1x/EV-DO, LTE (FDD, TDD) e TD-SCDMA.

Salva e decifra mensagens a partir da interface de ar automaticamente (Smartphone, Modem, Scanner, etc.) o software Genex Probe detecta os problemas da rede e impedimentos à prestação de serviços de voz e dados de alta qualidade, dando-lhe inestimável contributo para a otimização de rede moveis das operadoras de telefonia móvel.

**Figura 2:** Software de Predição Genex Probe



Fonte: Huawei, 2017.

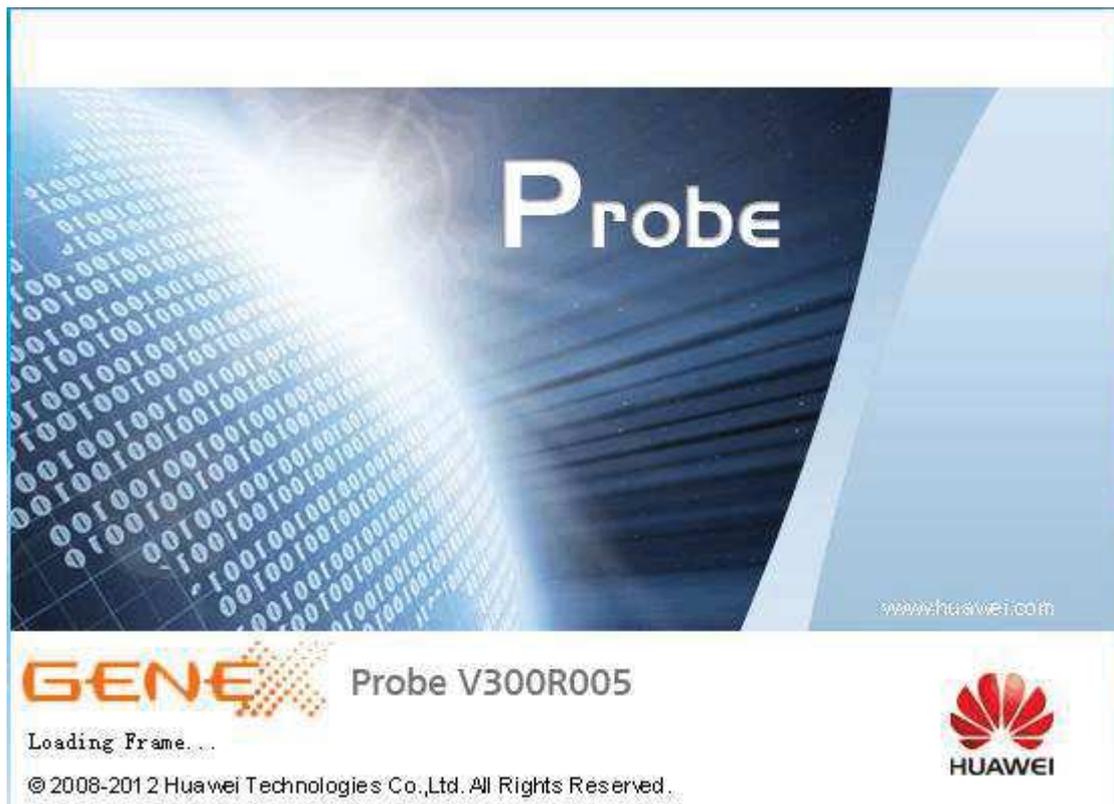
## 2.9 Licença do Produto

Uma licença de software fornece o direito legal de instalar, exibir, acessar, executar ou de outra forma interagir com um programa de software. O modo pelo qual o software pode ser usado é determinado pelo Tipo de licença. Os consumidores devem concordar com os termos do contrato de licença quando usam o software. A conformidade com a licença protege o investimento do desenvolvedor em sua propriedade intelectual.

O licenciamento deste Software é realizado pela autenticação nos servidores da Empresa Desenvolvedora Huawei. A licença deste software é mensal, portanto, a cada 30 dias após a ativação é necessária uma nova autenticação nos servidores da Desenvolvedora.

A seguir imagem do Software utilizado nas Medições de Campo:

**Figura 3:** Tela Inicial do Software de Predição Genex Probe



Fonte: Huawei, 2017.

## 2.10 TELEFONIA MÓVEL NA AMAZÔNIA

Amazônia Legal na Região Norte tem um crescimento de 8,32%, acima do crescimento médio Brasil, ainda pequeno com relação às necessidades dessa área. Entretanto, esse crescimento demonstra uma mudança de conceito, de perfil, para que comece a ter um maior investimento, um maior posicionamento dos equipamentos naquela região.

A Amazônia Legal hoje tem 88,3% da população atendida, enquanto a média nacional é de 94%. Para uma região como a Amazônia – e até tentamos buscar um precedente no mundo e não há, o projeto é muito importante para o País. Não basta haver uma ERB em determinada localidade para que seja ligada o sistema. Essa ERB tem de estar ligada a rede nacional, para que aquela cidade esteja ligada ao mundo no sistema de telecomunicações. Em um Estado como a Amazônia, os links, tanto por meio físico quanto por meio de rádio, são muito difíceis. Lembramos que por vários meses do ano, uma parte da Amazônia está sofrendo com a chuva.

As dificuldades que as empresas de telecomunicações encontraram na Amazônia, sendo pela distância ou pela característica geográfica da região. Não foi

fácil, inclusive para as empresas de telefonia fixa chegarem à Amazônia, atingirem lá as obrigações e metas que tinham conforme seus contratos com a ANATEL. Hoje, depois de muita dificuldade, as empresas de telefonia fixa conseguiram chegar a todos os Municípios do País, inclusive da Amazônia. Para chegarem a esses Municípios, tiveram de construir uma infraestrutura mínima que interligasse esses Municípios com outros maiores, para a partir daí, sair para o resto do País, o que muitas vezes acontece por satélites, ou por grandes enlaces de fibras óticas ou por rádio de micro-ondas que saem principalmente de Manaus e Belém, os principais pontos de saída da região amazônica.

O que temos hoje na região amazônica são diversas dificuldades. A principal refere-se às rotas de transmissão para interligação com a rede nacional. Quando falo em rotas de transmissão, refiro-me não só àquilo que se chama de espinha dorsal da rede nacional – o backbone nacional.

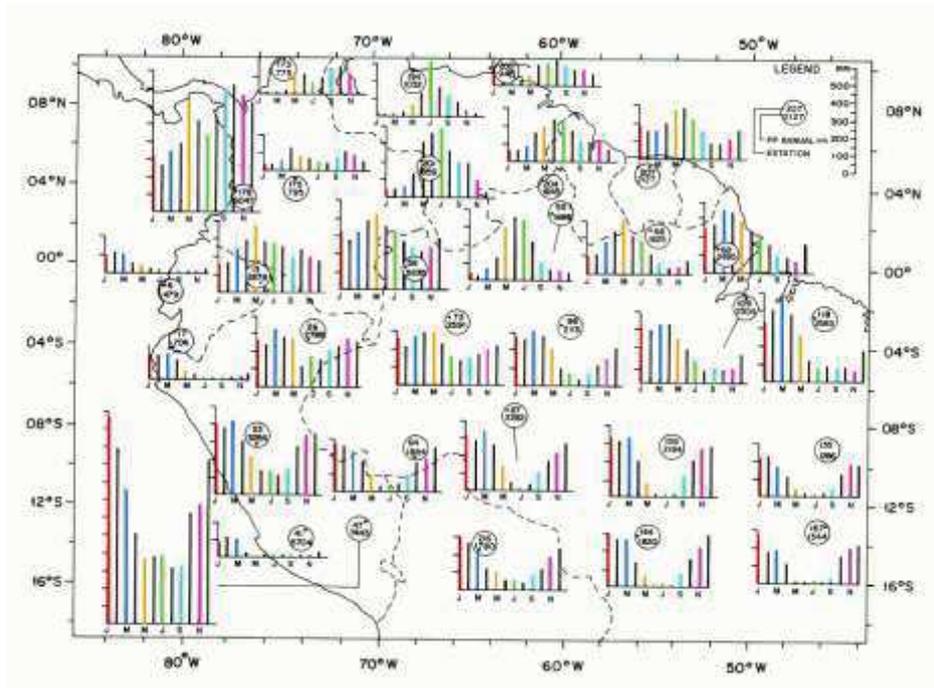
Na Amazônia temos o mesmo tráfego de voz, dados que há no resto do país, mas a ligação com a rede nacional é feita descendo para o sul, por rota terrestre, ou interligando com a rede nacional por Satélite, e essa segunda maneira de conexão mencionada têm limitação de capacidade. Há pouca capacidade para toda demanda de tráfego que existe e há o problema do preço. A pouca infraestrutura que existe é extremamente cara, o que complica sua utilização para prestar serviço ao usuário. Isso porque o serviço tem que chegar ao usuário a um preço acessível, e esse é o grande problema. Por essa razão, as operadoras decidiram construir uma rota própria para tentar aliviar esse problema e melhorar sua capacidade de ofertar serviço à região.

## **2.11 A CLIMATOLOGIA DA AMAZÔNIA**

A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2300 mm/ano, embora tenham regiões em que o total anual atinge 3500 mm. Nestas regiões não existe período de seca. Estes valores de precipitação elevada próximo à Cordilheira dos Andes deve-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos da Zona de Convergência Intertropical. Na região costeira, a precipitação também é alta e sem período de seca definido, devido à instabilidade que se formam ao longo da costa litorânea durante o período da tarde, que são ocasionadas pela brisa marítima. O máximo da chuva na região central da Amazônia, pode estar

associada com a penetração de sistemas vindos da região sul, interagindo e organizando a convecção local. A distribuição espacial e temporal da precipitação das chuvas na Amazônia é apresentada na Figura 6.

**Figura 4:** Distribuição da Precipitação das Chuvas na Amazônia



Fonte: INPE, 2017.

O período de chuvas na região Amazônica é compreendido entre os meses de novembro e abril, sendo que o período de seca é entre os meses de maio e outubro. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime e outro. A distribuição de chuva nos meses de dezembro a fevereiro apresenta um índice de precipitação de chuvas alta com demanda superior a 900 mm com concentração da água pluviométrica situada na parte oeste e central da Amazônia. Por outro lado, nos meses de junho a agosto, a distribuição máxima da precipitação deslocou-se para a América Central. A região Amazônica, neste período, no período de seca bem característico. Este comportamento está completamente de acordo com o ciclo anual da atividade na região Amazônica.

## 2.12 PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE RADIO

O canal de rádio móvel impõe limitações fundamentais para o desempenho dos sistemas de comunicações sem fio. O caminho do sinal entre o transmissor e o receptor pode variar desde a linha de visada direta até obstrução completa por diversos componentes do ambiente, tais como: Prédios, Montanhas e Vegetação.

Diferentemente dos canais que são fixos e previsíveis, os canais de rádio móvel são aleatórios e sua análise tem um certo grau de dificuldade. Até mesmo a velocidade de deslocamento do receptor influencia no enfraquecimento do sinal recebido.

A modelagem do canal tem sido a parte mais difícil da implantação do sistema de comunicação móvel, geralmente é realizada de forma estatística, com base em medições realizada no local onde o sistema será implantado e posteriormente a sua implantação.

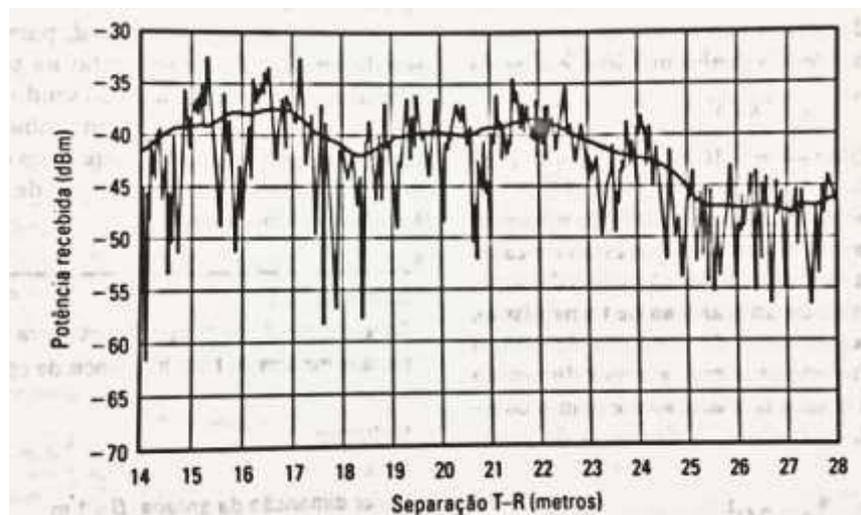
Há diversos mecanismos por trás da propagação das ondas eletromagnéticas, mas geralmente os mecanismos responsáveis são atribuídos a reflexão, difração e dispersão. Os sistemas de comunicações móveis geralmente são implantados em áreas urbanas, onde não há um caminho de visada direta entre a Estação Radio Base (ERB) e o receptor (Usuário), onde a presença de edifícios altos causa grandes atenuações pela difração. Devido as reflexões da onda nos objetos, ela trafega por diversos caminhos e tamanhos variáveis.

A interação entre essas ondas causa uma distorção de caminhos múltiplos em um local específico, e a intensidade da onda diminui à medida que a distância entre o receptor e o transmissor aumenta. Tradicionalmente, os modelos de previsão da intensidade média do sinal no receptor têm foco na distância entre transmissor e receptor e a variabilidade da intensidade do sinal em determinadas áreas próximas. Esses tipos de modelos que preveem a intensidade média do sinal a uma determinada distância do transmissor, são úteis para determinar a área de cobertura de um transmissor e são conhecidos como Modelo de propagação em Larga Escala, pois caracterizam a intensidade do sinal para longas distancias do receptor para o Transmissor.

Outro tipo de modelo de propagação que caracterizam as flutuações rápidas da intensidade do sinal no receptor para distancias curtas são chamados de modelo de pequenas escalas ou também conhecidos como Modelo de Atenuação de pequena escala.

Quando o receptor estar em movimento em distancias curtas, a intensidade do sinal pode oscilar rapidamente, fazendo surgir o modelo de atenuação de pequena escala. Um dos fatores principais para este evento ocorrer é a soma de várias ondas eletromagnéticas vinda de várias direções com fases aleatórias. Nesse modelo de atenuação, a potência do sinal no receptor pode variar entre 30 ou 40dB quando o receptor estar em movimento e à medida que a distância aumenta entre ambos, a média da intensidade do sinal recebido diminuirá gradativamente. Abaixo figura que mostra o modelo de atenuação de pequena escala e o Modelo de atenuação de Larga Escala.

**Figura 5:** Enfraquecimento do sinal em pequena e larga escala



Fonte: Rappaport, 2017.

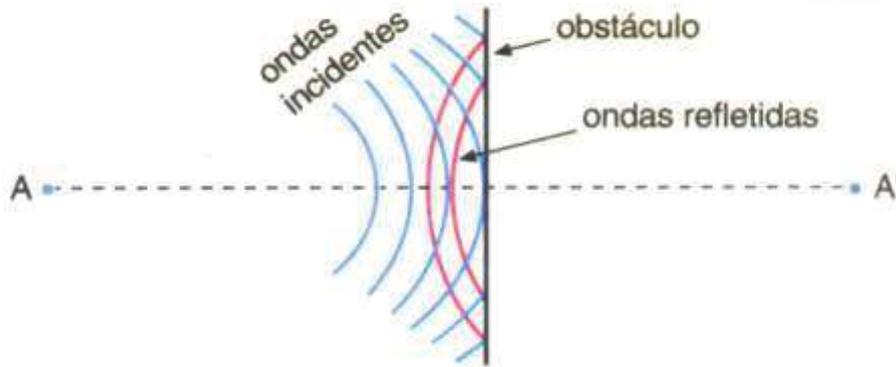
### 2.12.1 MECANISMOS BÁSICOS DA PROPAGAÇÃO

A Reflexão, Difração e Dispersão são os três mecanismos básicos da propagação de sinal e influenciam no sistema de comunicação móvel. A potência recebida geralmente é o parâmetro mais importante previsto pelos modelos de propagação em larga escala, a atenuação em pequena escala e a propagação por diversos caminhos podem ser descritas por esses mecanismos de propagação.

A reflexão ocorre quando no caminho da onda eletromagnética colide com corpos que possui tamanho muito grande em comparação ao comprimento da onda eletromagnética, essa onda é parcialmente refletida e parcialmente transmitida. Essas reflexões ocorrem comumente na superfície da terra e área urbana, pois existe muitos prédios e geralmente as ondas eletromagnéticas são polarizadas, ou seja, possuem

componentes de campo elétrico instantâneo em direções ortogonais no espaço. A Figura 8 exemplifica o fenômeno:

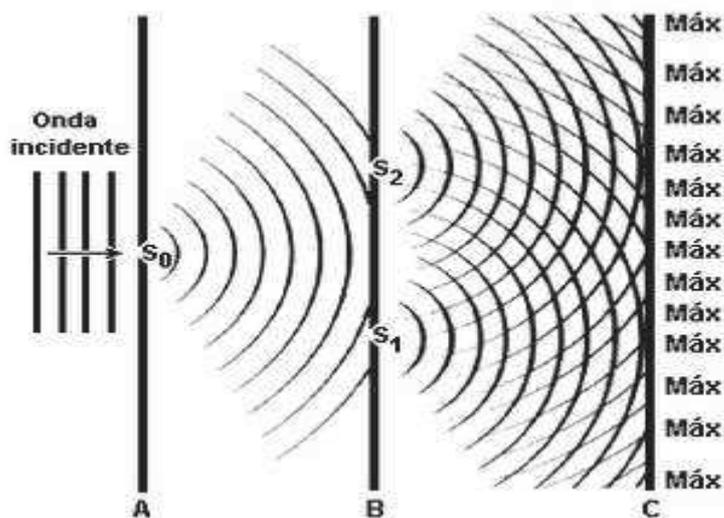
**Figura 6:** Reflexão de uma Onda Eletromagnética



Fonte: GLOBO, 2018.

A difração ocorre quando no caminho da onda eletromagnética é obstruída por uma superfície que possui arestas, devido a esse tipo de superfície com irregularidade afiadas são geradas ondas secundárias que fazem surgir uma curvatura de onda ao redor da aresta, até mesmo quando não existe visada direta entre o transmissor e receptor. Esse fenômeno pode ser explicado pelo princípio de Huygens, que afirma que todos os pontos presentes na frente da onda eletromagnética podem ser considerada como fonte de ondas secundárias e combinam para gerar uma nova onda eletromagnética. Abaixo figura exemplificando o fenômeno:

**Figura 7:** Enfraquecimento do sinal em pequena e larga escala



Fonte: GLOBO, 2018.

A dispersão ocorre quando o meio por onde a onda trafega possui objetos com dimensões menores em relação ao comprimento de onda e o número de objetos por volume unitário é grande. Esse tipo de onda é gerado por superfícies ásperas, por pequenos objetos ou por pequenas irregularidades do meio de propagação, quando esse evento ocorre a onda eletromagnética é espalhada em todas as direções gerando a dispersão do sinal.

No mundo, a vegetação, Superfícies de concreto induzem a uma dispersão da onda eletromagnética em sistema de comunicações moveis.

## **2.13 OS EFEITOS DA CHUVA NA TRANSMISSÃO DE MICRO-ONDAS**

Os principais fatores que dificultam a propagação em faixas de frequência de micro-ondas são a absorção, o espalhamento e a reflexão devidos aos gases atmosféricos, Chuvas, nevoas, etc. A atenuação pela chuva e seus derivados é a consequência do espalhamento e a absorção das ondas eletromagnéticas, provocando diversos problemas deste a baixa qualidade do rádio enlace até a indisponibilidade do serviço.

A atenuação de uma onda eletromagnética que atravessa o meio com chuva e é obtida pela contribuição individuais das gotas presente, considerando que as gotas possuem espessuras diferentes presente no meio. Como a intensidade da chuva varia no espaço e no tempo e em locais diferente, será analisado a estrutura da chuva no Clima tropical amazônico.

A estrutura da espacial da chuva consiste em um conjunto de gotas de águas que se estendem horizontalmente por alguns quilômetros e seu limite superior e chamado de altura da chuva. É formada por um núcleo onde a precipitação é mais intensa e uma pequena parte chamada de franja, onde a precipitação é mais moderada e a somada desses dois componentes é conhecida como Célula de Chuva e quanto maior as taxas de precipitação menor é a dimensão da célula. A dimensão das células de chuva intensa quando não aglomeradas varia de 2 a 20 km e o tempo de vida é geralmente baixo, geralmente entre 10 e 20 minutos, mas na região do estado do Amazonas existem células aglomeradas de chuva que seu tamanho varia de 2 a 200 km e com duração de horas e podendo chegar a dias.

A chuva pode ser classificada em dois tipos: a estratiforme e convectiva. A chuva estratiforme espalha-se por uma grande região e persistem por períodos de tempo muitos longos e sua intensidade é média para baixa, pois é o resultado da

formação de pequenas partículas de gelo na troposfera. Ao caírem agregam-se uma as outras formando núcleos cada vez maiores e tornam-se instáveis ao passar por uma faixa de altitude chamada de camada de derretimento que se estende por cerca de 500 a 1000 metros, onde transformam-se em gotas de chuva e precipitam-se em direção a superfície da terra.

A chuva convectiva são nuvens formadas em geral acima da isoterma de 0°C, que são empurradas para cima por fortes movimentos de massa de ar devido a diferença da pressão atmosférica, atinge intensidades bastantes altas e ocorrem trovoes e relâmpagos. Chuvas convectivas podem ocorrer individualmente ou em grupos formados por um conjunto de células, as chuvas tropicais amazônica são predominantemente convectivas com altas taxas de precipitação e geralmente ocorrem em áreas de extensão pequena e com curta duração.

## **2.14 OS EFEITOS DA VEGETAÇÃO NA TRANSMISSÃO DE MICRO-ONDAS**

A propagação de ondas eletromagnéticas na região amazônica, possui algumas características específicas que devem ser levados em conta, tais como:

- ✓ É uma região de alta umidade;
- ✓ A vegetação muda de acordo com variação do clima, modificando alguns parâmetros físicos;

Diversos estudos mostram que a propagação de ondas eletromagnéticas nesse tipo de ambiente impõe severas perdas de transmissão, devido ser tipicamente densa com folhas distribuídas também na altura dos troncos, compondo uma única camada onde as propriedades elétricas da vegetação devem ser consideradas.

A condutividade elétrica muda com a variação da quantidade de umidade nos elementos que constituem a floresta. Pois a vegetação amazônica apresenta elevados índices de umidade que a torna um meio de elevado índice de absorção para ondas eletromagnéticas.

Possui uma condutividade que variam entre 0,01 a 0,5 mS/m, sendo valores extremos e típicos para a floresta seca e úmida e polarização que varia deste a Polarização Horizontal (0°) até a polarização Vertical (90°) em torno do ângulo limite de refração que é de 71°, com o objetivo que a onda se propague sobre a floresta, pois a permissividade da floresta é maior que o ar.

Sobre a camada da floresta amazônica existem dutos de propagação, onde a onda eletromagnética de superfície apresenta uma baixa atenuação e a transmissão

através da floresta apresenta atenuação severas que impossibilitam a transmissão de ondas. Mais a propagação de ondas através dos dutos sobre a camada de vegetação, permite propagação de pulsos de micro-ondas que possibilitam enlaces de comunicação.

## **2.15 MODELOS DE PROPAGAÇÃO DE MICRO-ONDAS**

A transmissão de ondas eletromagnéticas de um sistema de comunicação móvel implantado na região amazônica ocorre com os fatores citados acima e um componente adicional, que são os terrenos irregulares que também são predominantes na região. O perfil desses tipos de terreno deve ser levado em consideração para a estimativa de perda no caminho, o tipo de terreno pode variar de uma simples curva até a locais altamente montanhoso. A presença de vegetação, Edifícios e outros obstáculos também devem ser consideradas.

Diversos modelos de propagação estão disponíveis para prever a atenuação no caminho em terrenos com irregularidades, embora todos esses modelos visam prever a intensidade do sinal em determinado ponto onde o receptor encontra-se. Mas esses métodos variam bastante em suas técnicas, complexidade e precisão, são baseados em uma interpretação sistemática de dados de medição obtidas na área de serviço. A seguir descreveremos os modelos mais utilizados para análise da propagação na faixa de 20MHz a 10GHz.

### **2.15.1 MODELO DE LONGLEY-RICE**

Este modelo aplica-se aos sistemas de comunicações ponto a ponto com range de frequência de 40 MHz a 100 GHz para aplicação em diferentes tipos de terrenos. A atenuação média da transmissão é prevista usando-se o perfil do caminho que a onda eletromagnética percorrerá e a refratividade da troposfera. Neste modelo, são usadas técnicas óticas geométricas principalmente o modelo de reflexão com dois raios no solo para prever a intensidade do sinal dentro da visada do rádio. Outras pedras são estimadas como a difração por obstáculos isolados com o modelo de gume de faca de Fresnel-Kirchoff.

O método opera em dois modos:

1 – Perfil detalhado de caminho do terreno estar disponível e seus parâmetros podem ser determinados facilmente, este modo é chamado de ponto a ponto;

2 – Perfil de caminho não disponível, mas o método de Longley –Rice oferece técnicas para estimar os parâmetros específicos, e essa previsão é chamada de modo de área.

Desde a publicação deste modelo, houveram muitas modificações e correções, uma modificação importante trata da propagação do rádio em áreas urbanas. Pois essa modificação introduziu uma permissão para a atenuação adicional devido a ruídos urbanos da recepção do sinal. Esse termo extra é conhecido como Fator Urbano (UF).

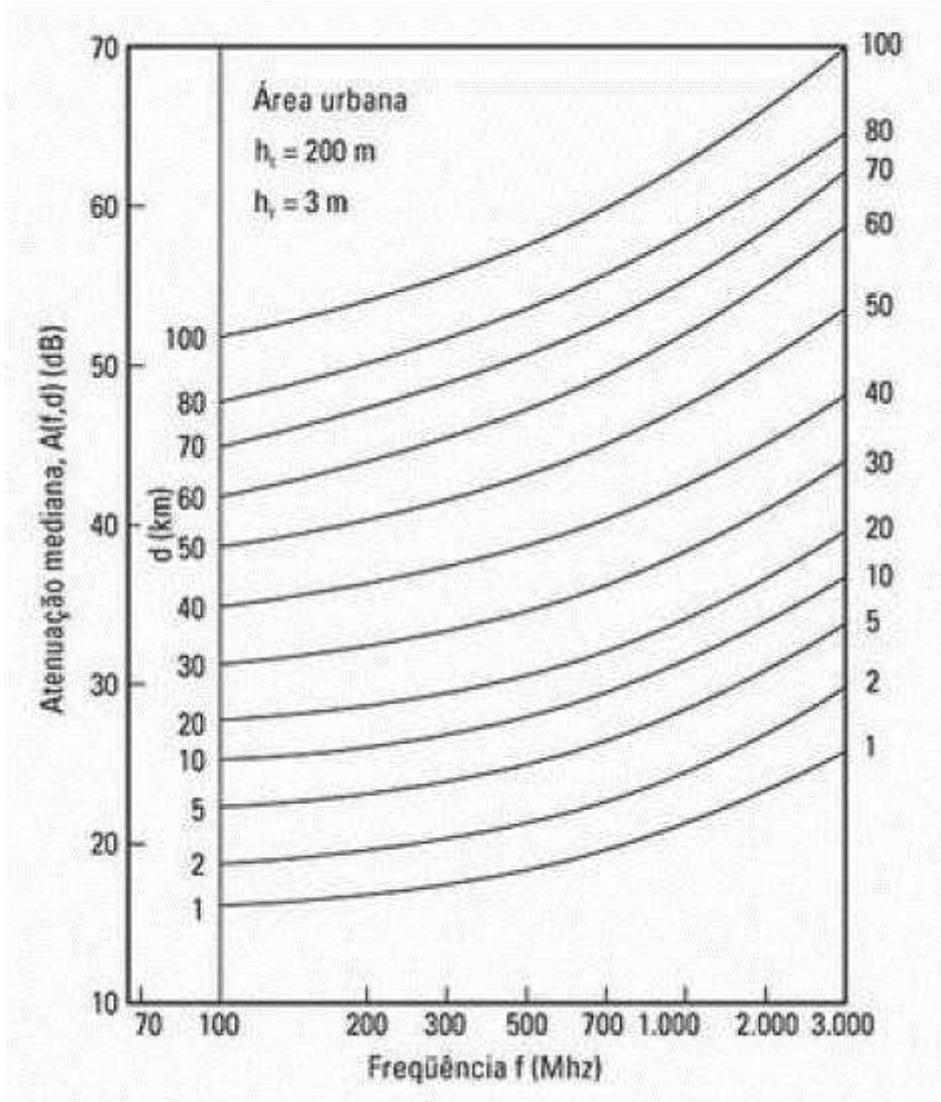
Este modelo possui limitações, ele não oferece um meio para determinar correções devido a fatores ambientais na vizinhança do receptor móvel, e não considera fatores de correção para o efeito dos prédios e da vegetação e também o caminho múltiplo não é considerado.

### **2.15.2 MODELO DE OKUMURA**

O modelo de Okumura é um dos modelos mais usados para a previsão de sinal em áreas urbanas. Este modelo é aplicável a faixa de frequência de varia de 150 MHz a 1920 MHz, mais esse modelo é normalmente utilizado até a faixa de frequência de 3000 GHz e distâncias máximas de 100 km, e estações rádio – base variando de 30m a 1000 m.

Foi desenvolvido por Okumura, um conjunto de curvas mostrando a atenuação mediana relativa no espaço livre em área urbana e terreno quase plano com altura efetiva da antena de 3m e estação rádio base com altura de 200m.

**Figura 8:** Atenuação Mediana no Espaço Livre



Fonte: PUC, 2018.

As curvas foram desenvolvidas a partir de medições extensas usando um modelo de antena a Omnidirecional vertical, e foram desenhadas como uma função da frequência na faixa de 100 MHz a 1920 MHz e junto com outra função de distância a partir da estação rádio base até o receptor que podem variar até no máximo a 100 km.

Para determinação da atenuação no caminho usando no modelo de Okumura, em primeiro lugar é determinada a perda no caminho entre dois pontos de interesse, posteriormente é somada a ela os fatores de correção para considerar o tipo do terreno. Esse modelo pode ser expresso como:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_F + A_{\text{mu}}(f,d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{\text{area}} \quad (1)$$

Onde:

$L_{50}$  = Valor do Percentil (Mediana);

$L_F$  = Perda de Propagação no Espaço Livre;

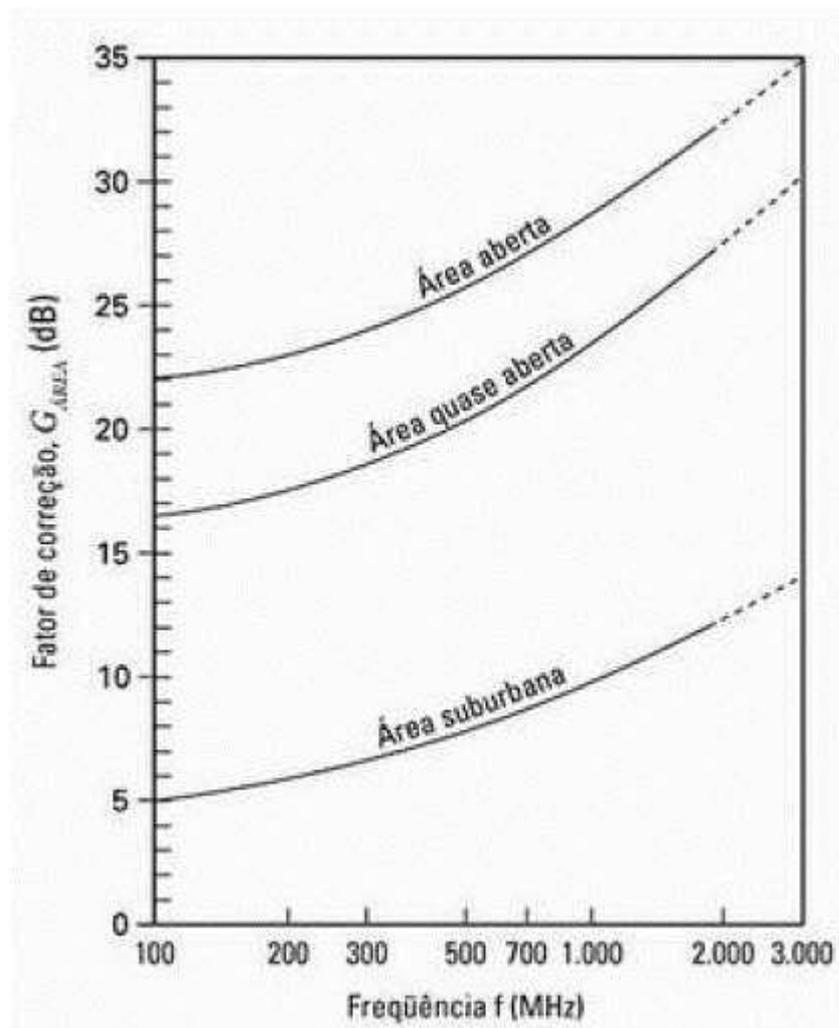
$A_{mu}$  = Atenuação Relativa ao Espaço Livre;

$G(h_{te})$  = Fator de Ganho da Altura da Antena da Estação Rádio Base;

$G(h_{re})$  = Fator de Ganho da Altura da Antena da Estação móvel (Receptor);

$G_{area}$  = Ganho devido ao tipo de Ambiente.

**Figura 9:** Fator de Correção  $G_{area}$  para diferentes tipos de Terrenos



Fonte: PUC, 2018.

Outros tipos de correções podem ser aplicados ao modelo de Okumura, alguns parâmetros importantes relacionado tipo de terreno, tais como:

- ✓ Altura das Ondulações do Terreno ( $\Delta h$ );
- ✓ Altura do Cume Isolado;
- ✓ Inclinação media do Terreno;
- ✓ Parâmetro de Terra-Mar.

Este modelo é totalmente baseado em medições, e não oferece quaisquer explicações analíticas. Em muitas situações as derivadas das curvas são extrapoladas e podem ser feitas para se obter valores fora da faixa de medição e sua validade depende das circunstância e da suavidade da curva em análise, e é considerado o modelo mais simples e melhor termos de precisão na previsão da atenuação no caminho para ambientes bastantes edificadas, como o ambientes das grandes cidades.

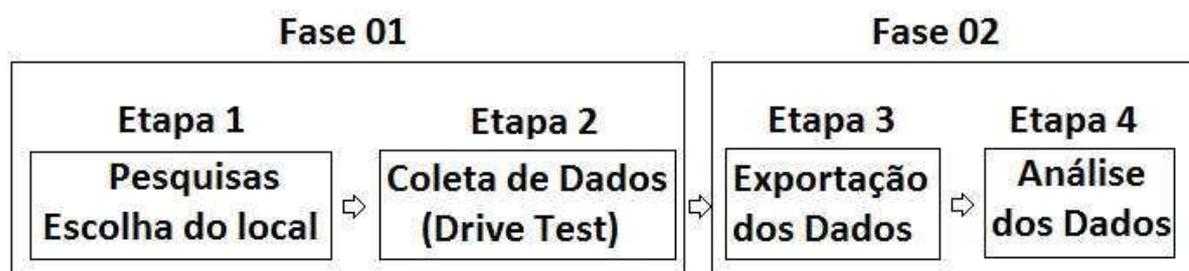
### 3 METODOLOGIA

O trabalho foi constituído de duas fases: a primeira, refere-se à coleta de dados com equipamento específico para esse tipo de atividade em duas regiões diferentes. A primeira região escolhida por análise de imagens aéreas, para a análise do sinal propagado em duas distintas situações, com chuva e com sol, para fazer um comparativo, foi no bairro de Santa Etelvina, mais precisamente no Loteamento Paraíso Verde, onde ainda é predominante as árvores. O segundo local, foi o bairro de Cachoerinha, por ser um bairro com mais de 100 anos e a predominância de casas, é pouco arborizado. Seguiu-se o mesmo cenário do primeiro ambiente: coleta de dados com sol e chuva.

A segunda fase, refere-se à exportação dos dados coletados em campo e análise dos dados para verificação dos níveis de atenuação e interferência da chuva no sinal propagado da tecnologia LTE nos locais coletados.

Cada fase será dividida em duas etapas. A Figura 10 descreve as etapas de casa fase:

**Figura 10:** Etapas de consolidação do projeto



Fonte: Autor, 2018.

- Etapa 1: Pesquisar conteúdos em livros, monografias, teses, artigos, publicações na *Internet* e escolher o local na cidade de Manaus para coletar os dados a serem analisados;
- Etapa 2: Realizar o *Drive Test* nos bairros de Santa Etelvina e Cachoeirinha para coletar os dados em ambientes com sol e chuva.
- Etapa 3: Realizar a exportação dos dados, ou seja, retirar as informações coletadas do formato proprietário para um formato onde se pode visualizar as informações coletadas em campo;
- Etapa 4: Realizar a análise das informações exportadas para verificar a atenuação e interferências causadas pela chuva nos ambientes escolhidos.

### **3.1 CARACTERÍSTICAS DA REDE LTE ANALISADA**

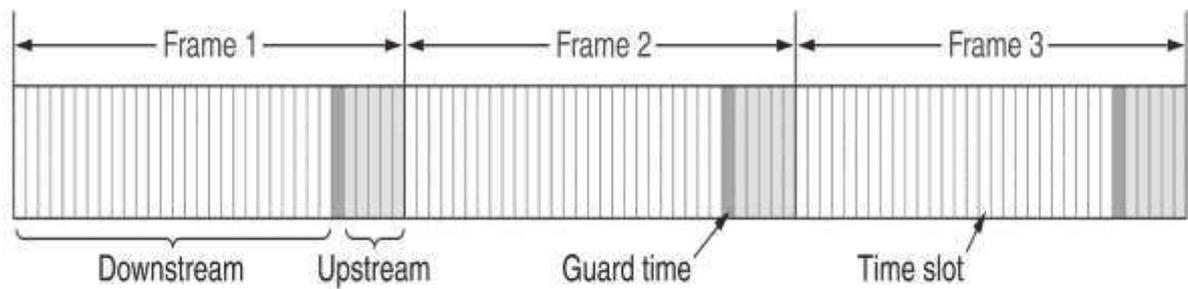
A rede de telefonia móvel a ser analisada será da Empresa SKY Banda Larga, foi a primeira empresa a disponibilizar telefonia de Quarta Geração (4G) no Brasil. O projeto Piloto foi implantado na Cidade de Brasília/DF em 2011.

A rede móvel possui um modo de transmissão de camada física diferente das outras operadoras no Brasil, utiliza um tipo de duplexação chamado de *Time Division Duplex* (TDD).

#### **3.1.1 TIME DIVISION DUPLEX (TDD)**

O *Time Division Duplex* é um modo de Transmissão com espectro não emparelhado que utiliza a mesma frequência para transmissão e recepção em período de tempo diferente. Os quadros transmitidos são formados em slots de tempo, sendo que os primeiros se destinam ao tráfego downstream. Antes dos slots para tráfego upstream, há um tempo de proteção, durante o qual a estação comuta o sentido de transmissão. Isto é ilustrado na figura abaixo:

**Figura 11:** Quadros e Slots de Tempo



Fonte: Teleco, 2017.

O número de slots alocados pode ser alterado dinamicamente, essa flexibilidade permite que haja eficiência em aplicações com diferentes exigências. Por exemplo, na transmissão de voz o tráfego é praticamente simétrico, enquanto que para o acesso à internet o tráfego downstream é, em geral, maior que o upstream.

Outra Característica Importante desse tipo de transmissão é o custo, pois rede com transmissão TDD utiliza equipamentos de custo menor devido o consumo de energia ser 50% menor que o *Frequency Division Duplex (FDD)*, sofre menos Interferência devido possuir apenas um canal para transmissão e por fim o custo do bloco de Espectro para transmissão e recepção de 20MHz e menor devido no mundo o espectro de frequência não emparelhada estar disponível.

Abaixo um comparativo entre os tipos de Transmissão:

**Tabela 1:** Comparativo de Frequências

	LTE-FDD	LTE-TDD
Número de Bandas	2 (downlink e uplink)	1
Largura de Banda	2 x 10MHz = 20MHz	20 MHz
Informação transmitida	5 Mbps x 5 ms	10 Mbps x 2,5ms
Informação recebida	5 Mbps x 5 ms	10 Mbps x 2,5ms
Ganho das antenas	Menor	Maior
Complexidade	Maior	Menor
Envio de dados de forma assimétrica	Complexo	Trivial
Latência	Muito baixa	Depende do alcance
Alcance	Maior	Menor
Nº de estações base necessárias	Inferior	Superior

Fonte: Huawei, 2017.

## 2.7.2 MODULAÇÃO E CODIFICAÇÃO ADAPTATIVA

Entre as diversas técnicas de melhorias destinadas a aumentar a capacidade dos sistemas de comunicações móveis está a adaptação de enlace. Ou seja, é uma técnica de adaptação, onde parâmetros de transmissão do sinal (modulação, taxa de código, etc.) são dinamicamente adaptados às condições variantes do canal.

O canal de um sistema de comunicação sem fio é variável no tempo devido a desvanecimentos e condições de interferência diferentes. Técnicas de modulação e codificação adaptativa (MCA) exploram justamente essas variações temporais a fim de maximizar a taxa de dados que podem ser transmitidas nesse canal de uma maneira eficiente. Pois não necessitam de taxas de dados constantes, possibilitando aumentar a taxa de bits durante o tempo em que o canal está com alta qualidade e alcançar uma maior Vazão.

Essas técnicas foram introduzidas em sistemas celulares de segunda geração, como o sistema EDGE, por exemplo. Em termos práticos, os valores dos parâmetros de transmissão são organizados e agrupados em modos de transmissão. No EDGE, existem 9 modos de transmissão:

- ✓ Cinco modos com modulação 8-PSK e taxas de código que variam de 0,37 a 1;
- ✓ Quatro modos com modulação GMSK e taxas de códigos que variam de 0,53 a 1.

Esses diferentes modos de transmissão fazem com que a taxa de transmissão máxima varie de 8,8 a 59,2 Kbps em cada espaço de tempo. Cada modo de transmissão é utilizado em situações diferentes do canal, uma vez que cada um tem requisito de qualidade e taxa de dados diferentes. O objetivo é que a transmissão seja realizada sempre no modo mais eficiente.

A Adaptação de enlaces em sistemas LTE ajusta a taxa de dados transmitida dinamicamente para iguala-se com a capacidade do canal de rádio em uso para cada usuário. Nas transmissões de dados no enlace de descida (Downlink) a eNodeB seleciona o modelo de modulação e a taxa de codificação do canal dependendo de informações das condições do CQI (Channel Quality Indicator), o CQI é uma indicação da taxa de dados que o canal pode suporta levando em conta a relação sinal interferente e o ruído (SINR – Signal to Interference plus Noise Ratio) e as características do equipamento do usuário, que por fim é informado pelo equipamento do usuário no enlace de subida.

A eNodeB escolherá entre a melhor adaptação do enlace de descida, consultando as condições do CQI, que são alimentada pelo enlace de subida. Poderá

selecionar entre os modelos de modulação (QPSK, 16-QAM e 64-QAM) e uma grande faixa de taxas de codificação, mas a eNodeB dependerá de uma série de fatores, que incluem a qualidade do Serviço (QoS – Quality of Service) e o Throughput (Vazão) da Célula alocada.

O processo de Adaptação de Enlace nas transmissões de subida do LTE é semelhante ao processo de adaptação do enlace de descida, a eNodeB faz o processo de escolha de qual modelo de modulação e codificação é adequado para determinada situação. A eNodeB identifica o modelo de modulação adequado para a transmissão que pode ser entre o QPSK e 16-QAM e o 64-QAM também estar disponível para a categoria máxima do terminal do Usuário.

A principal diferença entre o enlace de Subida e o enlace de Descida é que a adaptação do enlace não depende do CQI, a eNodeB faz sua própria estimativa do Throughput ao enlace de subida suportado pelo canal sounding. Outro aspecto importante é o uso em conjunto com a alocação de múltiplos usuários no tempo e na frequência (scheduling), que permite o compartilhamento eficaz dos recursos de transmissão de rádio e sua capacidade pode variar para os terminais dos usuários. Portanto o CQI pode ser usado para diversos aspectos da adaptação de enlace como a modulação e codificação para as condições do canal, Otimização dos Recursos alocados no tempo/frequência (time/frequency selective scheduling) e o gerenciamento da interferência entre as células.

### **3.1 PROCEDIMENTOS PARA MEDIÇÕES E COLETA DE DADOS EM CAMPO**

Realiza Medições em Campo com a utilização do Software de Predição em conjunto com outros equipamentos, tais como Notebook, Modem, Scanner, Antenas Externas e GPS. O Objetivo principal é visualizar o desempenho da rede Seleccionada (GSM, WCDMA, LTE, etc..) em Tempo real, Como a análise da rede será em uma rede 4G LTE TDD, será verificado os Seguintes Itens: Nível de Recepção (RSRP), Qualidade do Sinal Recebido (RSRQ), Interferência (Ec/Io), Bloqueios (Setup Fails), Throughput (Taxa Máxima de Transferência), Entre outros. E também verificar possíveis problemas de Instalação, tais como: Setores Invertidos, Erro de Azimute, Erro no Geo-posicionamento da ERB, etc.

## **3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS:**

### **3.2.1 NOTEBOOK LENOVO B490**

Um dos principais equipamentos para a realização da análise e coleta de dados é o notebook, responsável pela coleta de informações dos terminais (Modem, Scanner, GPS), processamento das Imagens, Gravação de dados, Pós-processamento, e outras funcionalidades.

O notebook da Empresa Lenovo, modelo B490, é um modelo ideal para esse tipo de atividade, pois tem um custo benefício, Bateria de 6 Células que garantem até 7 horas de trabalho ininterruptos, Processamento, Memória adequada pois o software de predição necessita de bastante espaço para coleta, amostragem e gravação de dados.

### **3.2.2 Modem Huawei E392 LTE**

O Modem Huawei E392 LTE é um dos primeiros equipamentos fabricado para Modulação e Demodulação da rede LTE de 4° Geração de telefonia móvel no mundo, fabricado pela Empresa Huawei. O Modem e suas variações foram desenvolvidos para diferentes públicos ao redor no mundo, tornando compatível com todas as redes LTE existente no Mundo, pois seu desenvolvimento foi focado na interoperabilidade entre as redes Existente. Conseqüentemente, o modem também reconhece outras redes moveis já existentes, tais como: WCDMA, HSPA, HSPA+, GSM, EDGE e GPRS.

Abaixo, informações sobre as frequências e tecnologia que o Equipamento de Modulação e Demodulação Suporta:

**Tabela 2:** Tecnologias Suportada pelo Modem Huawei E392

Modem Huawei E392				
Especificações				
Frequência (MHz)	4G LTE FDD	4G LTE TDD	3G UMTS	3G CDMA
450	OK	-	-	-
700	OK	-	-	-
800	OK	OK	-	OK
850	-	-	OK	-
900	OK	-	OK	-
1800	OK	-	OK	-
2100	OK	-	OK	-
2300	-	OK	-	-
2500	OK	OK	-	-
<b>2600</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	-	-

Fonte: Huawei, 2017.

### 3.2.3 SCANNER PCTEL SEEGULL EX FLEX COM GPS INTEGRADO

Em um ambiente muito competitivo e em constante evolução, as redes móveis existentes pelo mundo são bastantes diversificadas, Todos os dias frequência e tecnologia novas entram no mercado.

O Scanner PCTel SeeGull EXflex combina a flexibilidade para testar redes móveis em Bandas de frequência que variam de 300 MHz a 3.8 GHz com o desempenho comprovado. Suporta a maioria das Tecnologias utilizadas em todo o mundo em uma única unidade.

A seguir as Tecnologias que a unidade Suporta:

- ✓ LTE FDD
- ✓ LTE TDD
- ✓ UMTS (WCDMA/HSPA, HSPA+
- ✓ TD-SCDMA
- ✓ GSM
- ✓ CDMA
- ✓ EV-DO

Abaixo imagem do Equipamento utilizado nas Medições de Campo:

**Figura 12:** Scanner de Frequência PCTel.



Fonte: Autor, 2017.

#### **3.2.4 ANTENA EXTERNA (FREQUÊNCIAS 698 MHZ – 3 GHZ)**

É um dispositivo criado para transmitir ou receber energia eletromagnética, casando essas fontes de energia e o espaço. A Antena externa conectada ao Scanner é de suma importância para o funcionamento perfeito, pois a unidade utilizada para captação de uma determinada frequência configurada no equipamento onde estar conectada, esse tipo de antena omnidirecional trabalha no range de 698MHz a 3 GHz, sendo um casamento perfeito para a análise das frequências e tecnologia existentes nas redes moveis.

#### **3.2.5 CABO USB**

O Cabo USB, é uma tecnologia que interliga periféricos ao computador, ele tem a função de transferir os dados da Unidade de scanner de Frequência para o software de Predição, mostrando essas informações em tempo real e salvando os dados coletados para uma análise posterior.

### **3.2.6 INVERSOR DE TENSÃO VEICULAR 12V DC PARA 127V AC**

Os inversores ou conversores DC/AC são aparelhos que podem converter as baixas tensões de bateria de 12/24V de carro ou caminhão, em uma alta tensão alternada de 110 V ou 220 V para alimentar aparelhos que são plugados na rede de energia alternada.

Utilizamos para alimentação do Notebook e alguns casos de equipamentos que necessitam de corrente alternada para seu funcionamento.

### **3.3 EXECUÇÃO DE DRIVE TEST NA TELEFONIA DE QUARTA GERAÇÃO**

Em todo projeto de radiofrequência. Depois da implantação do sistema deve ser realizado uma avaliação para verificação da performance e identificar possíveis erros de instalação e projetos.

Existe algumas formas de avaliação, como o KPI (Key Performance Indicator) e ferramentas de predição de sinal e interferências. Uma outra forma com alta eficiência de avaliar a rede é a realização de um Drive Test.

O drive test consiste em realizar testes em redes moveis independente de sua tecnologia (GSM, CDMA, WCDMA, LTE, Wimax, Etc..) em deslocamento geralmente em veículos, mas o tipo de veículo não importa e pode ser realizado o drive test em:

- ✓ Bicicleta;
- ✓ Moto;
- ✓ A pé (Walktest);
- ✓ Lancha, Etc.

**Figura 13:** Drive Test na Cidade de Afuá - PA



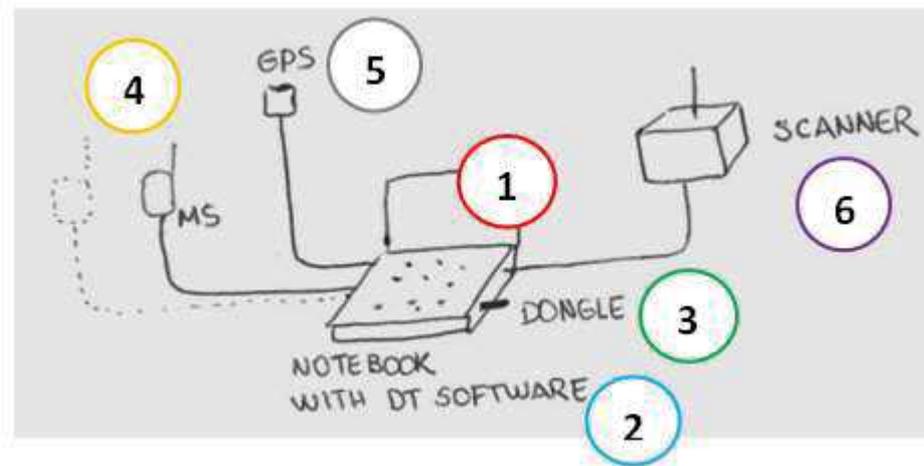
Fonte: Autor, 2016.

O mais importante é o hardware e software utilizado o teste, mas qual é o objetivo do Drive Test? O Drive Test tem o objetivo e coletar dados em movimento para identificar problemas na rede de Telefonia Móvel como:

- Queda de Chamada;
- Interferência;
- Falta de Cobertura;
- Baixas Taxas de Tráfego de Dados;
- Qualidade de Voz e Dados;
- Capacidade de Cobertura;
- Comparação entre redes, entre outros problemas.
- O Hardware Utilizado nos testes de campo geralmente são:
- Notebook;
- Software de coleta;
- Dongle (Licença Física para Utilização do Software de Coleta);
- Terminais moveis (Telefones Celulares, Modem);
- GPS;
- Scanner.

Existe também o uso de adaptadores que permitem uma interconexão com todos os tipos de hardware para diversos tipos de testes. Na figura 14, um esquema básico das conexões existente no equipamento de Drive test.

**Figura 14:** Esquema Básico dos Equipamentos para Drive Test



Fonte: Teleco, 2017.

O objetivo principal do teste é coletar informações que podem ser visto e analisados em tempo real, permitindo a visualização da performance da rede “in loco”, e as informações coletadas por todos os equipamentos conectados são agrupados sistematicamente pelo software de coleta e armazenado em um ou mais arquivo de saída, também conhecido como “Log”, Conforme anexo demonstra o conteúdo de um log.

O hardware mínimo necessário para a realização do drive test é um terminal móvel, equipamento com software de coleta e um GPS. Atualmente existe aparelhos celulares (smartphone) com a capacidade para realizar esses testes, pois possuem o hardware necessário para a realização, tais como:

- GPS Interno;
- Software de Coleta;
- Capacidade de Salva todas as informações dos Testes;
- Caracterizas Nativas dos Telefones Celulares.

Figura 15: Smartphone com Software de Predição Instado



Fonte: Aliexpress, 2017.

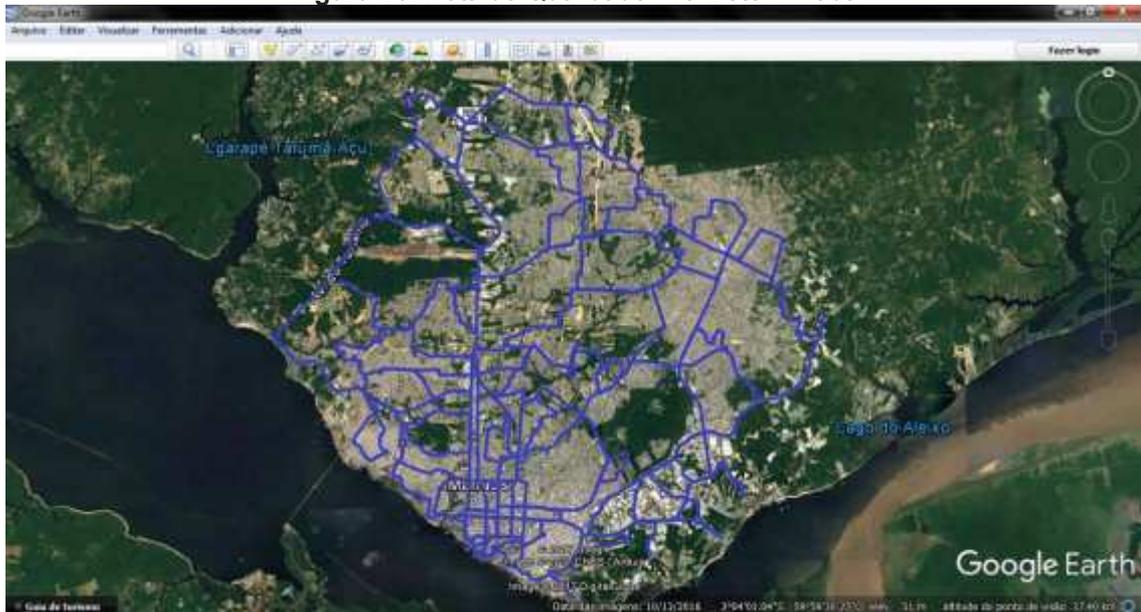
### 3.3.1 ROTAS DE DRIVE TEST

Antes de iniciar o Drive test, é necessário verificar o local onde será realizado os testes. Essa área é definida baseada em vários fatores, tais como:

- Implantação de ERB;
- Congestionamento na rede;
- Excesso de Quedas de Chamada;
- Interferências no sinal;
- Qualidade do sinal;
- Acessibilidade;
- Handoff entre ERB's;
- Cobertura do sinal;
- Relevo;
- Entre outros testes.

Geralmente, as rotas são pré-determinadas pela equipe de Engenharia utilizando um software gratuito e bastante robusto na área de georreferenciamento, o Google Earth. Neste Software são determinadas as ruas e a área a ser analisada/coletada dos dados de campo. Abaixo exemplo de Rota Pré-Determinada.

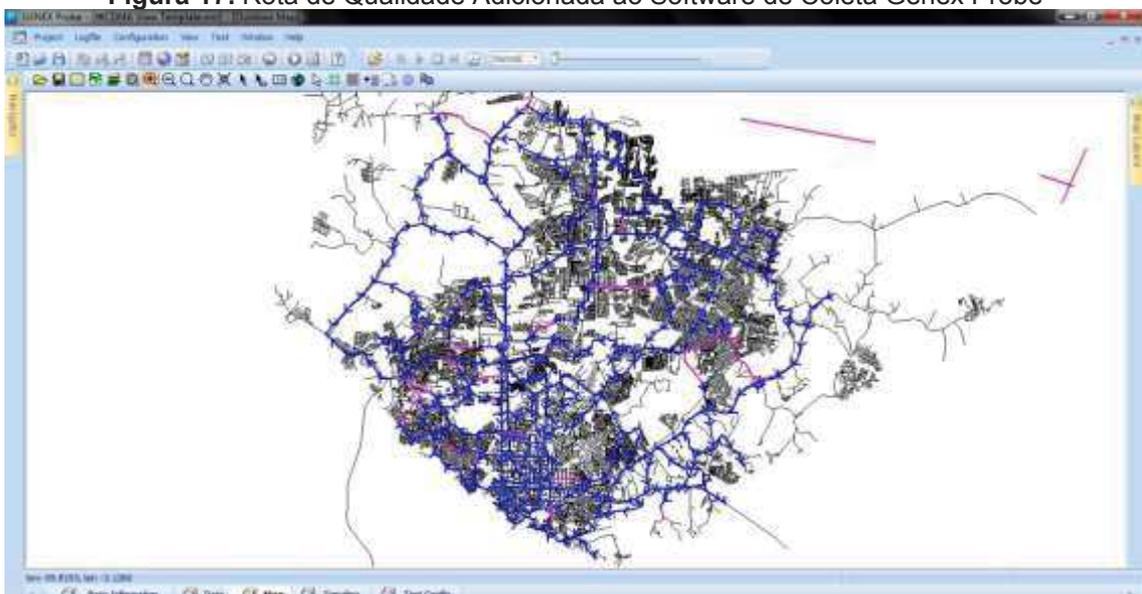
**Figura 16:** Rota de Qualidade Pré-Determinada



Fonte: Autor, 2017.

Alguns softwares de coleta possuem recursos que autorizam o adição da imagem na área de trabalho e permitem um georreferenciamento exato. Possibilitando uma análise profunda de possíveis problemas e determinados locais. Abaixo Exemplo de Rota Adicionada ao Software de Coleta.

**Figura 17:** Rota de Qualidade Adicionada ao Software de Coleta Genex Probe



Fonte: Autor, 2017.

### 3.3.2 TIPOS DE TESTES

O Teste é realizado de acordo com a necessidade, geralmente são testes que a tecnologia (GSM, CDMA, WCDMA, LTE, Etc..) implantada suporta, mas a finalidade do teste vai depender da tecnologia, Objetivo do Teste e da Equipe de Engenharia, mas os Testes Padrão podem ser:

- Chamada de Voz
- Chamada de Vídeo
- Envio de SMS
- Trafego HTTP, HTTPS;
- Trafego Máximo de Dados (Download e Upload);
- Ping;
- CSFB;
- Carrier Aggregation (Agregação de Links)
- Entre outros;

Um Drive Test padrão, geralmente utiliza dois Terminais Moveis. Um móvel realizando chamadas para um determinado número dentro de um tempo pré-determinado determinado configurado no Software de Coleta. Esse teste de Chamada é dividido em dois tipos:

**Chamada Curta:** Este tipo de teste tem chamadas com duração média de uma ligação dos usuários, que gira em torno de 180 segundos. Tem o objetivo de verificar se as chamadas estão sendo estabelecidas e finalizadas de acordo com as especificações do projeto e também é possível verificar o tempo para a realização da Chamada.

**Chamada Continua:** Este Segundo tipo de teste tem chamada com duração infinita e com objetivo de verificar se estar ocorrendo o Handoff entre as ERB's.

O outro terminal móvel estar em modo Stand by ou também comumente conhecido como IDLE, ou seja, ligado, mas não realizando chamada, e o scanner realizando uma varredura em um determinado Range de frequência.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os processos durante a realização do Drive Test bem como os resultados obtidos do mesmo.

### 4.1 ESCOLHA DOS LOCAIS PARA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE DRIVE TEST

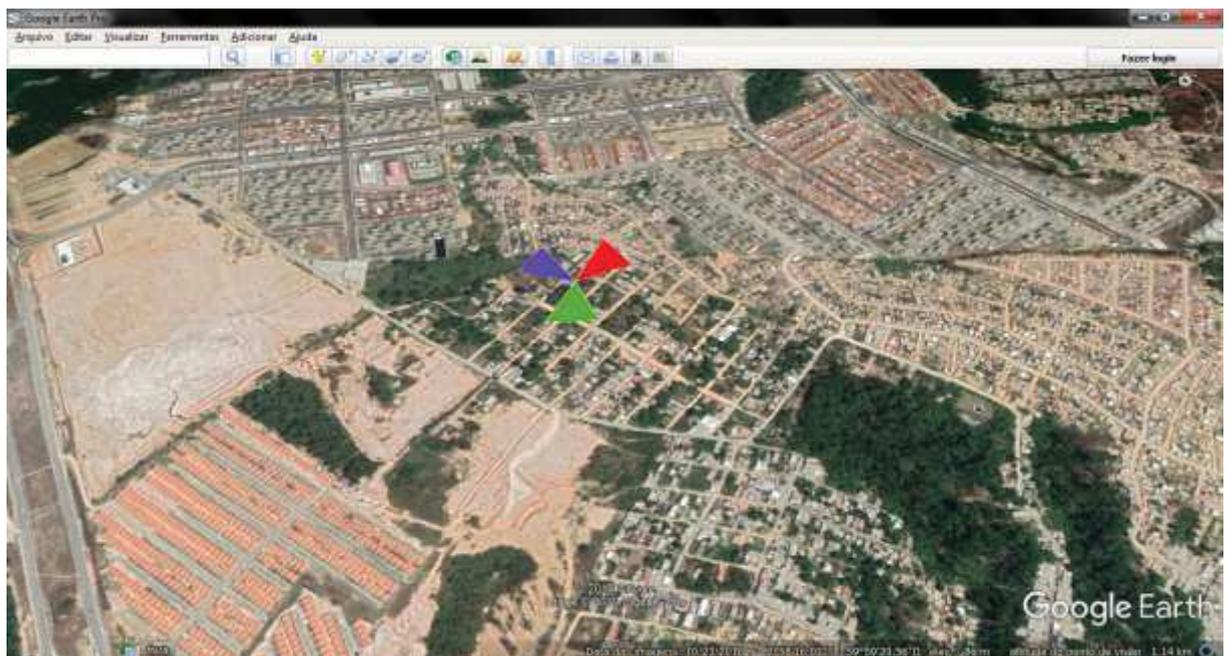
Os experimentos para análise da cobertura de sinal na tecnologia de quarta geração sem e com a influência da chuva foram realizados em dois ambientes distintos:

1. Local arborizados com poucas edificações
2. Local não arborizados com muitas edificações

#### 4.1.1 Local arborizado com poucas edificações

A estação de rádio base (ERB) escolhida para a realização do experimento em locais arborizados está localizado no loteamento Paraíso Verde, situado no bairro Santa Etelvina região norte de Manaus. Na figura 18, temos uma vista aérea do local escolhido onde observamos o grande número de vegetação e poucas edificações em torno da ERB.

Figura 18: Local bastante arborizado



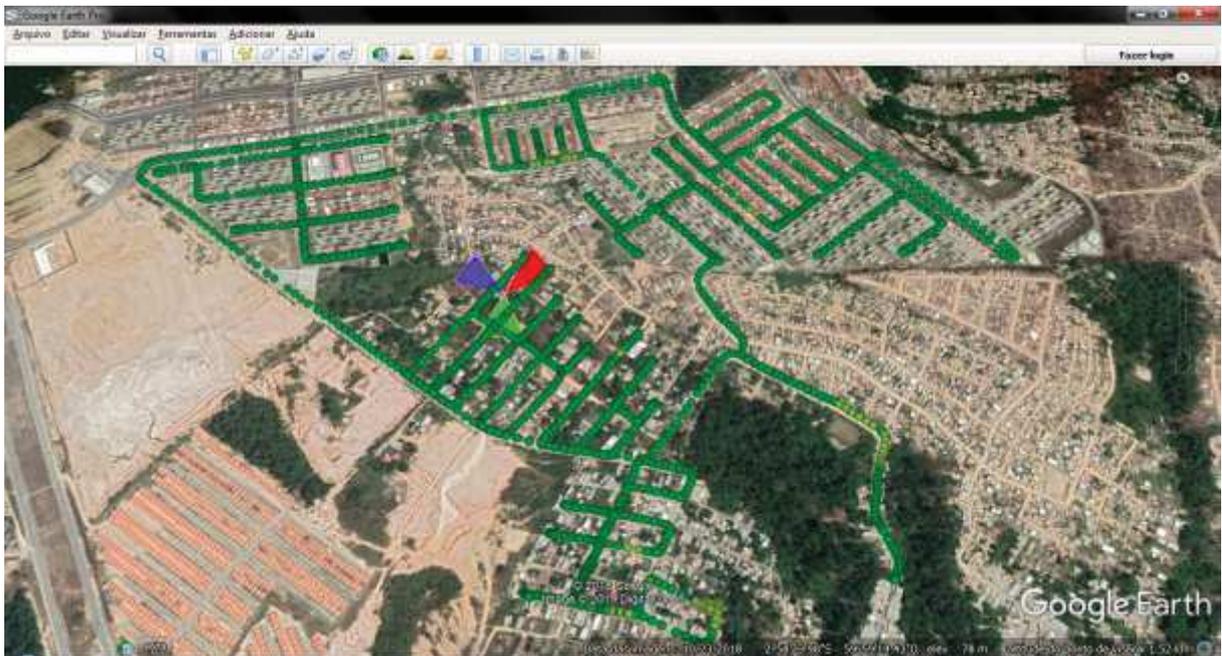
Fonte: Autor, 2019.

## Medições realizadas em dia ensolarado

O experimento foi realizado no dia 21 de março de 2017, onde as temperaturas na cidade variavam entre de 30°C e 33,2°C, dia de forte calor e sem chuvas em Manaus.

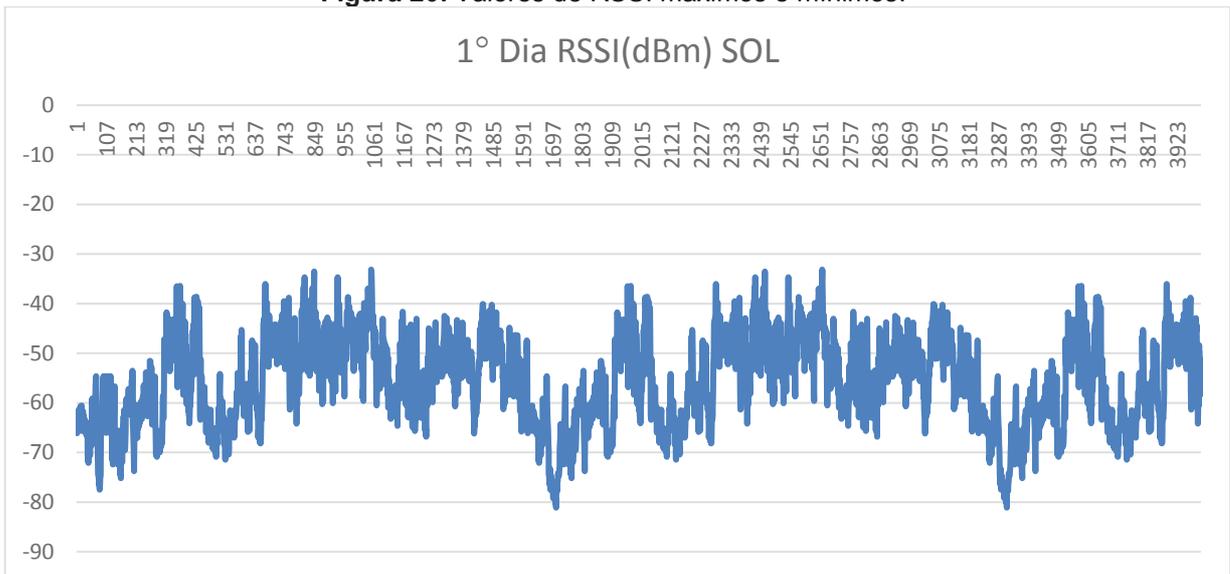
Utilizando o software Genex Probe foram coletadas mais de 4 mil amostras do nível de *Received Signal Strength Indication* (RSSI), que é o indicador de intensidade de sinal recebido, durante o percurso realizado em torno da ERB (figura 19). Se faz necessário essa quantidade de amostras para se obter uma média eficaz e assim garantir um parâmetro confiável para a realização do test.

**Figura 19:** Drive test com níveis de RSSI na região arborizada com sol



Fonte: Autor, 2019.

O Indicador de intensidade do sinal recebido teve uma média de -55,67 dBm, com valores máximos de -33,13 dBm e valores mínimos de -81,13 dBm (figura 20), no qual estão dentro dos níveis aceitáveis de propagação e desempenho de acordo com a especificação do fabricante do modem instalado no equipamento de coleta para recepção, no qual seria entre -30 dBm valores máximos e mínimos de -85 dBm.

**Figura 20:** Valores de RSSI máximos e mínimos.

Fonte: Autor, 2017.

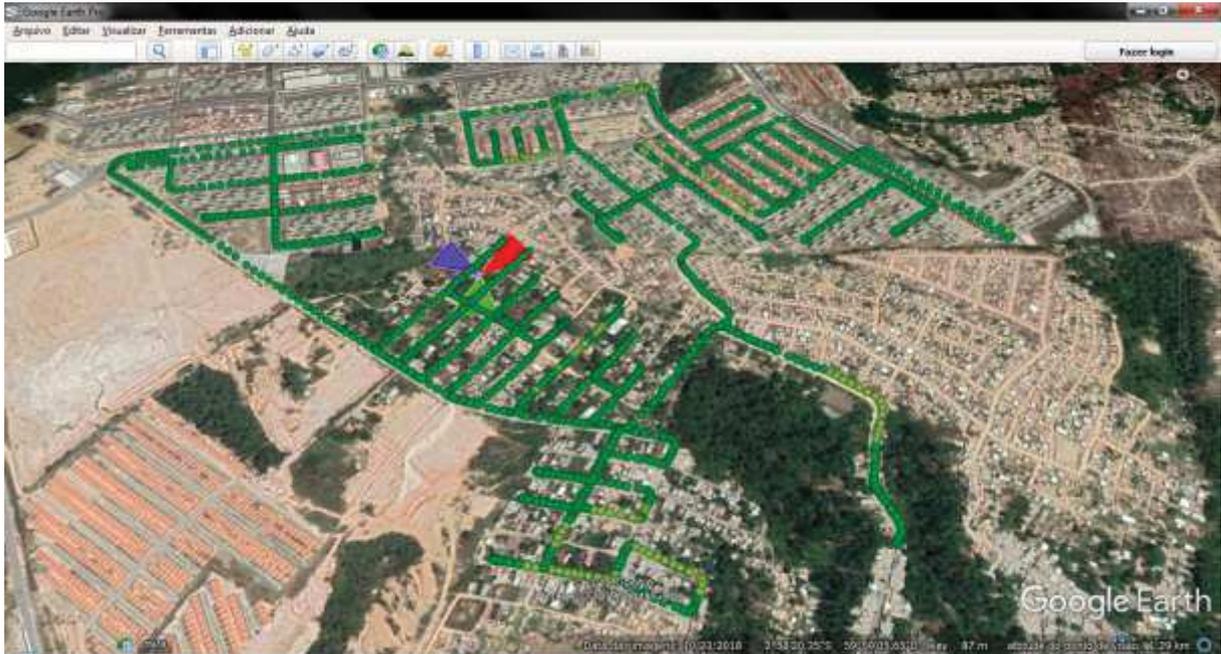
### Medições realizadas em dia chuvoso

O segundo experimento em local bastante arborizado e com poucas edificações com a presa de chuva, foi realizado no dia 25 de março de 2017, onde a temperatura estava na casa de 25°C, dados coletados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET caiu cerca de 40mm de chuvas na cidade de Manaus

Foram coletadas mais de 4 mil amostras ao redor da ERB (figura 21), para se ter uma média confiável e precisa de qual o nível de recepção e identificar a possível atenuação que a chuva causa nas transmissões eletromagnéticas.

Como dito anteriormente, o RSSI foi o parâmetro utilizado no teste pra verificar a qualidade da cobertura do LTE.

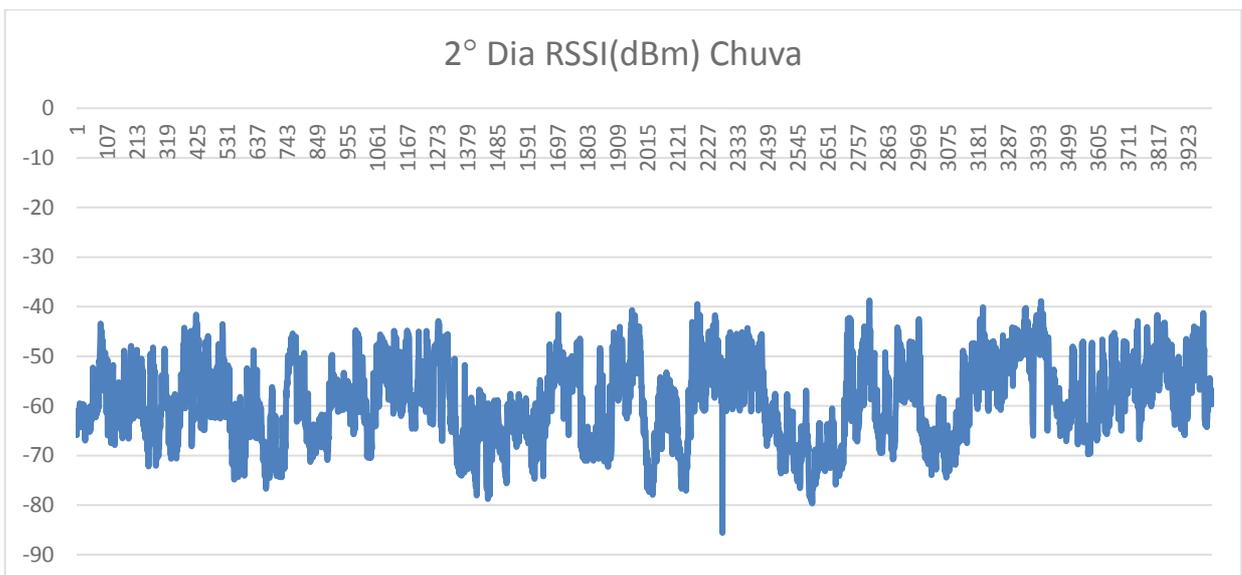
**Figura 21:** Drive test com níveis de RSSI na região arborizada com chuva.



Fonte: Autor, 2019.

O Indicador de intensidade do sinal recebido teve uma média de  $-59,09$  dBm, com valores máximos de  $-38,75$  dBm e valores mínimos de  $-85,61$  dBm (figura 22), como falado anteriormente, estes valores estão dentro dos níveis aceitáveis de propagação e desempenho, a faixa de variação está entre  $-33$  dBm e  $-85$  dBm. Este parâmetro fornece informações sobre a potência total recebida incluídos interferências e ruídos presentes.

**Figura 22:** Valores de RSSI máximos e mínimos

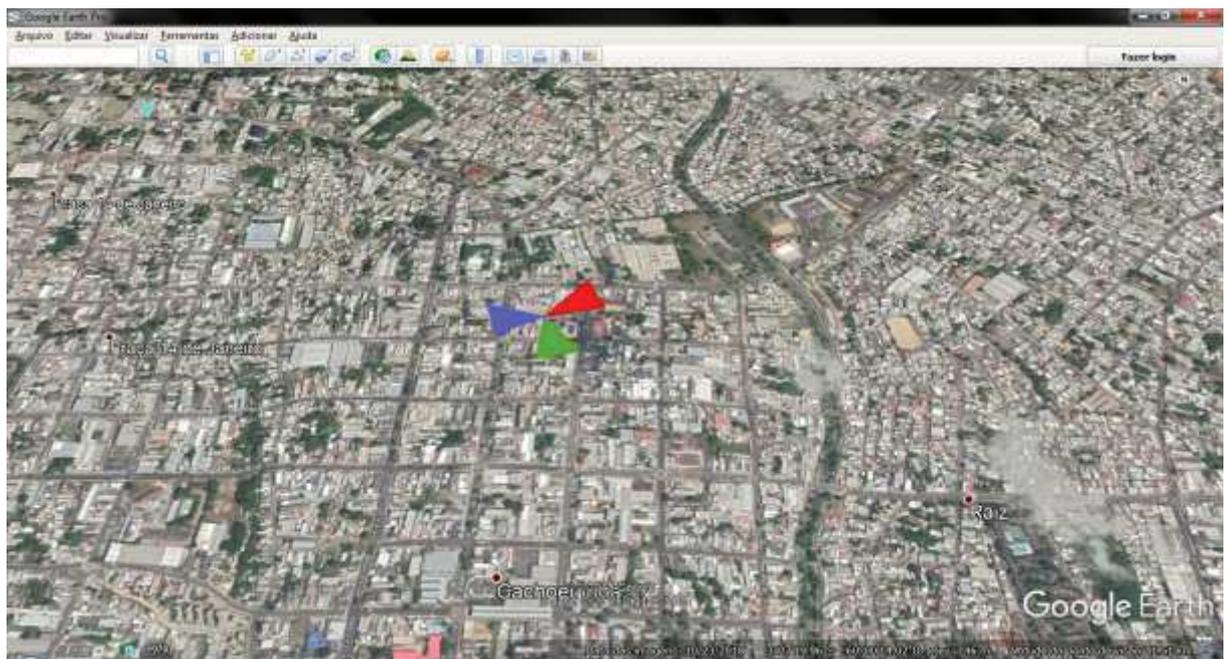


Fonte: Autor, 2019.

#### 4.1.2 Local não arborizados com muitas edificações

A estação de rádio base (ERB) escolhida para a realização do experimento em locais não arborizados com muitas edificações encontra-se no bairro da Cachoeirinha, localizado na região Sul da cidade de Manaus. Na figura 23, temos uma vista área do local escolhido onde podemos observar o grande número de edificações em torno da ERB.

**Figura 23:** Local bastante edificado



Fonte: Autor, 2019.

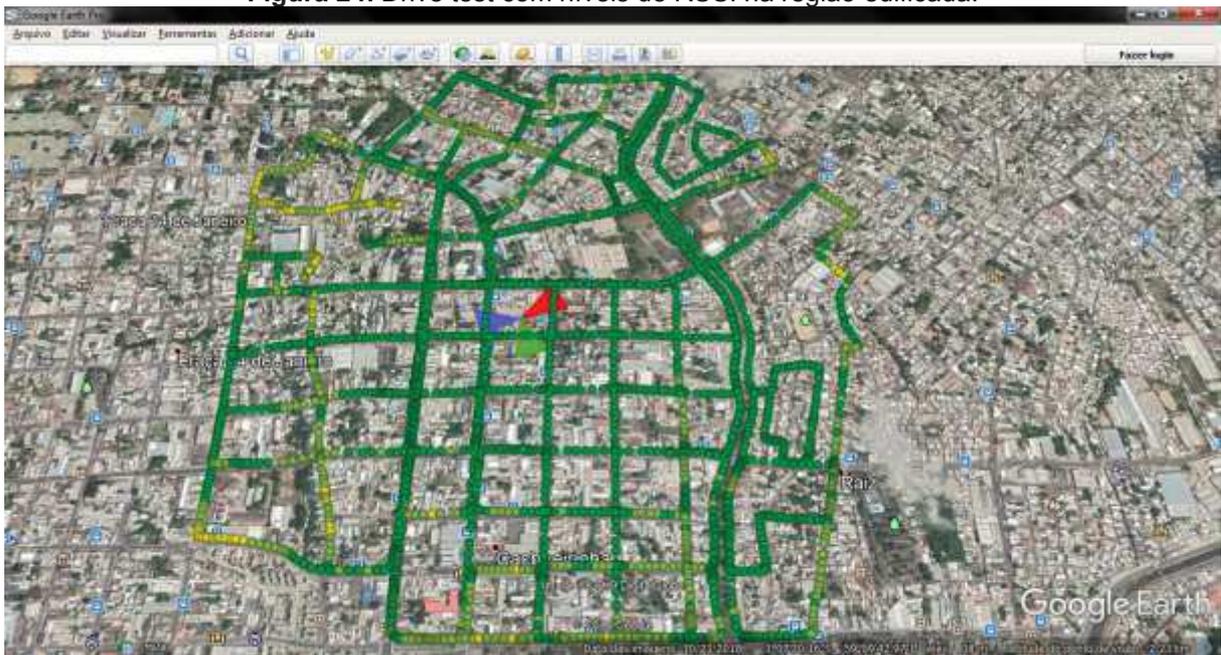
#### Medições realizadas em dia ensolarado

O primeiro teste ocorreu no dia 21 de março de 2017 com temperatura na casa dos 30°C, o local escolhido foi o bairro da Cachoeirinha localizada na região sul da cidade de Manaus. Este local foi escolhido devido conter bastante edificações antigas e poucas arvores e um dos principais fatores possuir uma ERB no local.

Foram coletadas mais de 1,7 mil amostras ao redor da ERB (figura 24) para se ter uma média confiável e precisa de qual o nível de recepção.

Como dito anteriormente, o RSSI foi o parâmetro utilizado no teste pra verificar a qualidade da cobertura do LTE.

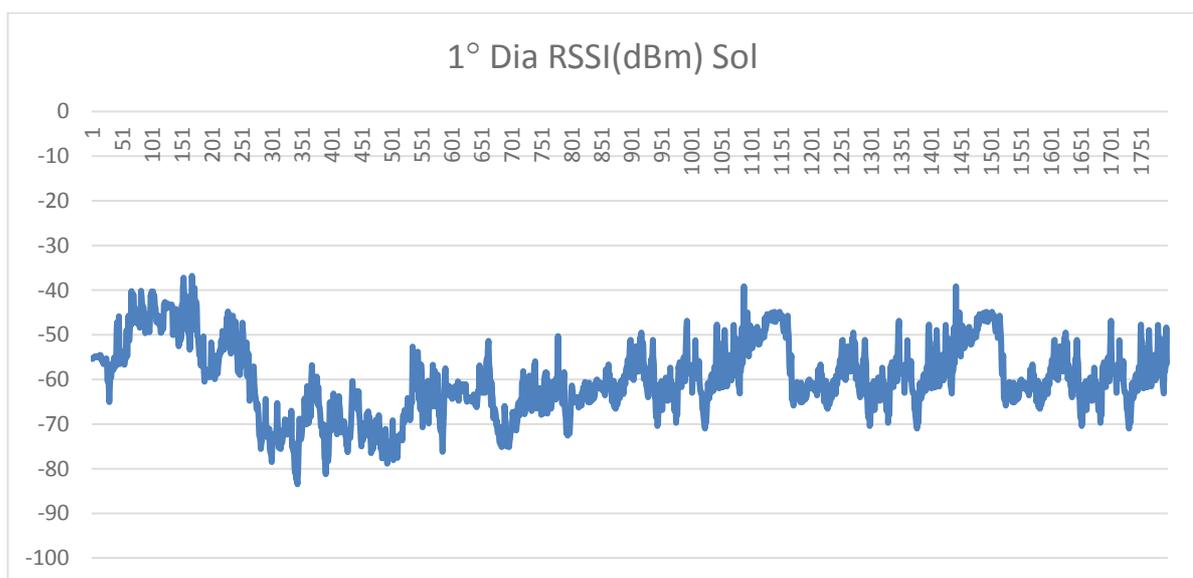
**Figura 24:** Drive test com níveis de RSSI na região edificada.



Fonte: Autor, 2019.

O RSSI teve uma média de  $-59,91$  dBm, com valores máximos de  $-36,81$  dBm e valores mínimos de  $-83,50$  dBm (figura 26). como dito anteriormente, estes valores estão dentro dos níveis aceitáveis de propagação e desempenho, a faixa de variação está entre  $-33$  dBm e  $-85$  dBm. Este parâmetro fornece informações sobre a potência total recebida incluídos interferências e ruídos presentes.

**Figura 25:** Valores de RSSI máximos e mínimos.



Fonte: Autor, 2019.

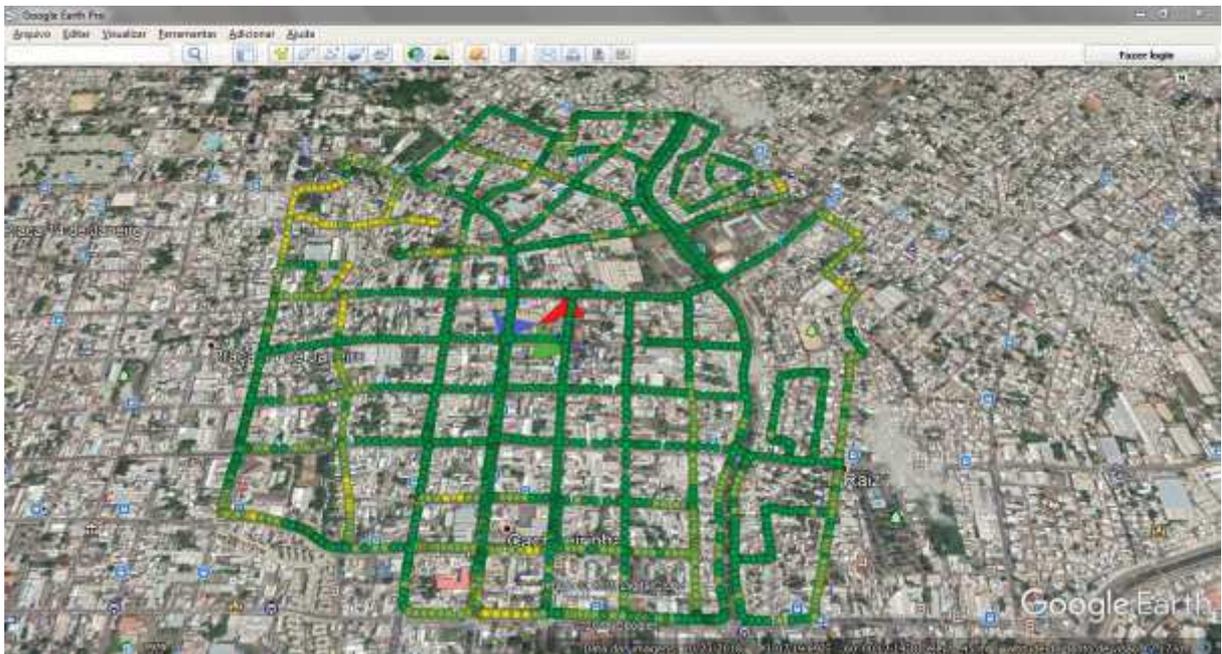
## Medições realizadas em dia chuvoso

O segundo teste ocorreu no dia 25 de março de 2017 com temperatura na casa dos 25°C, e dados coletados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET caiu cerca de 40mm de chuvas na cidade de Manaus

Foram coletadas mais de 1,7 mil amostras ao redor da ERB para se ter uma média confiável e precisa de qual o nível de recepção e identificar a possível atenuação que a chuva causa nas transmissões eletromagnéticas.

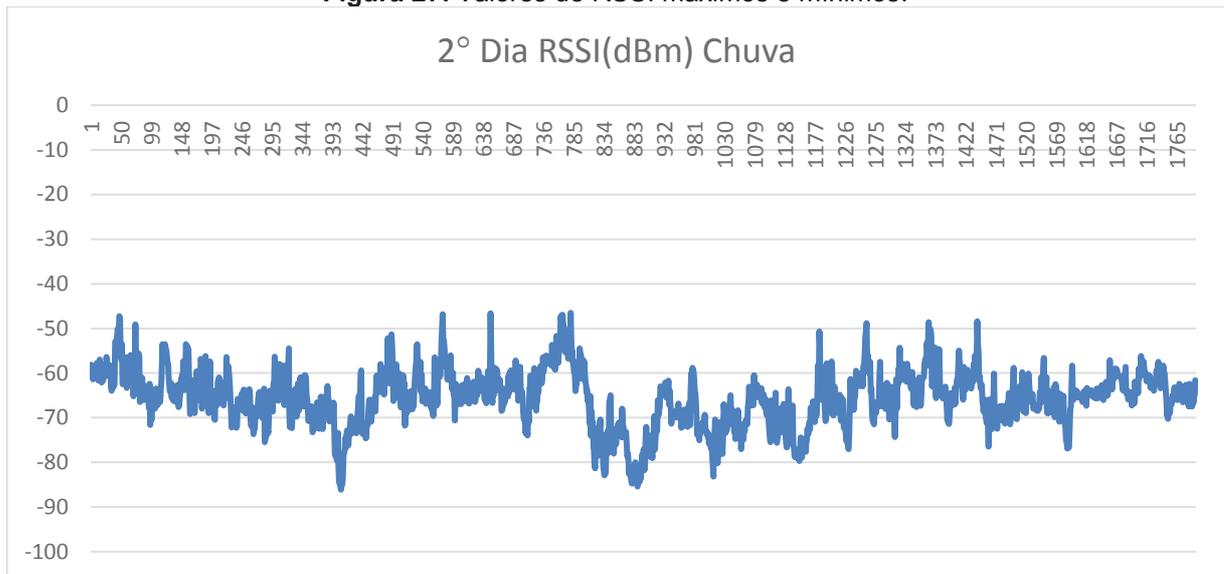
Como dito anteriormente, o RSSI foi o parâmetro utilizado no teste pra verificar a qualidade da cobertura do LTE.

**Figura 26:** Drive test com níveis de RSSI na região edificada com chuva.



Fonte: Autor, 2019.

O RSSI teve uma média de -65,68 dBm, com valores máximos de -46,5 dBm e valores mínimos de -86,13 dBm. estes valores estão dentro dos níveis aceitáveis de propagação e desempenho, a faixa de variação está entre -33 dBm e -85 dBm (figura 27). Este parâmetro fornece informações sobre a potência total recebida incluídos interferências e ruídos presentes.

**Figura 27:** Valores de RSSI máximos e mínimos.

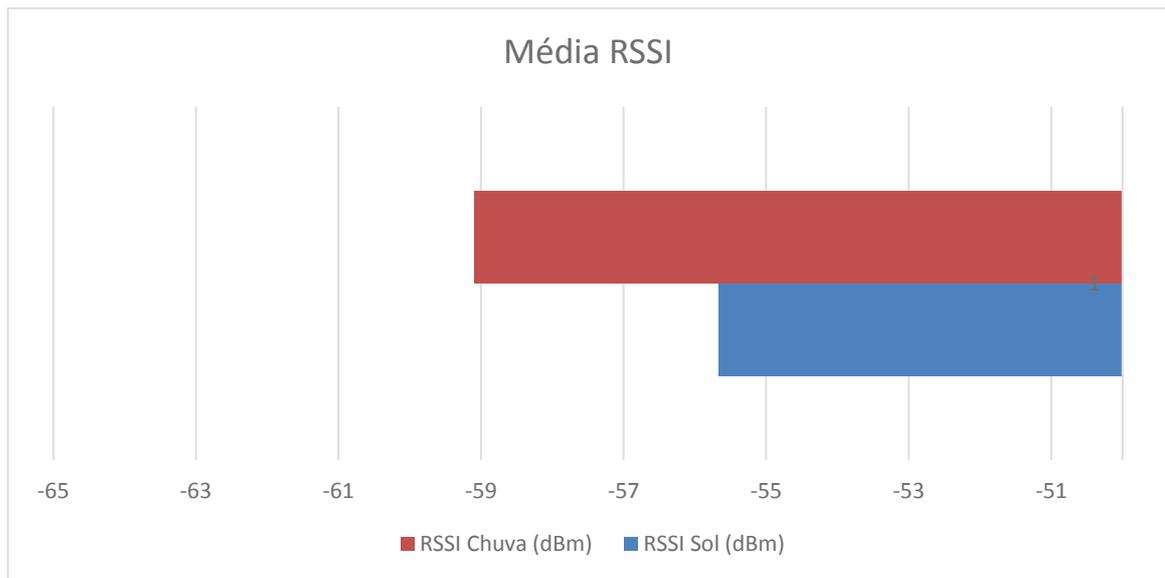
Fonte: Autor, 2019.

## 4.2 Análise Comparativa dos Teste

### 4.2.1 Análise Comparativa do Ambiente Arborizado

Após a extração das informações coletadas no primeiro e segundo dia no ambiente com poucas edificações e com bastante arvores, foi realizado um comparativo com um software proprietário do desenvolvedor *MICROSOFT*, O MS Excel. Software para edição de planilhas eletrônicas e bastante utilizado para realizar cálculos.

No primeiro e segundo dia de coleta, obtivemos cerca de 4 mil amostras para ter uma média confiável, após inserção de formulas na planilha gerada após a extração, foi calculada a média a partir dessas amostras e obtivemos o valor de -55,67 dBm para o primeiro dia e de -59,09 dBm. (figura 28).

**Figura 28:** Média RSSI em Ambiente Arborizado.

Fonte: Autor, 2019.

Abaixo, Tabela com valores obtidos com a análise das informações da coletada em campo:

**Tabela 3:** Tabela com Valores da Análise dos dados Coletados

	RSSI Sol (dBm)	RSSI Chuva (dBm)	Atenuação (Chuva)
<b>Média</b>	<b>-55,67</b>	<b>-59,097</b>	<b>3,427</b>
<b>Mediana</b>	<b>-55,41</b>	<b>-59,38</b>	<b>3,97</b>
<b>Moda</b>	<b>-55,71</b>	<b>-59,75</b>	<b>4,04</b>
<b>Mínimas</b>	<b>-81,13</b>	<b>-85,61</b>	<b>4,48</b>
<b>Máximas</b>	<b>-33,13</b>	<b>-38,75</b>	<b>5,62</b>

Fonte: Autor, 2019.

Em Estatística, a Média é definida como o valor que mostra para onde se concentram os dados de uma distribuição como o ponto de equilíbrio das frequências em um histograma. Ou seja, é um valor significativo de uma lista de valores e obtivemos o valor de -55,67 dBm para o primeiro dia e de -59,09 dBm para o segundo dia de coleta de dados.

A Mediana é o valor que separa a metade maior da metade menor de um conjunto de amostra, ou seja, a mediana poderá ser o valor do meio de um conjunto de dados. E obtivemos o valor de -55,41 dBm para o primeiro dia e de -59,38 dBm para o segundo dia.

A Moda é o valor mais frequente de um conjunto de amostras, sendo assim, para defini-la basta observar a frequência com que os valores aparecem. E o valor encontrado é -55,71 dBm para o primeiro dia e de -59,75 dBm para o segundo dia.

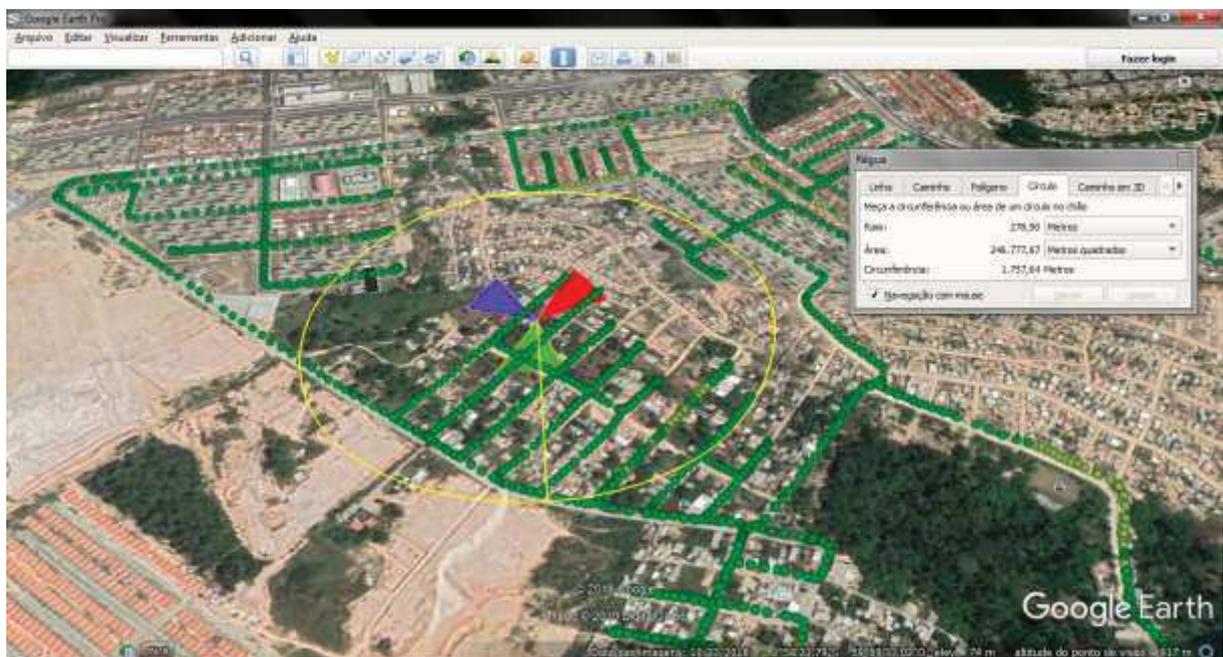
A Mínima, segundo o Aurélio é o menor valor encontrado em um conjunto de dados, ou seja, o valor mais baixo e obtivemos após a análise dos dados coletados o valor de -81,13dBm para o primeiro dia e de -85,61 dBm para o segundo dia.

A Máxima, é o inverso da mínima e segundo o Aurélio é o maior valor encontrado em um conjunto de dados, ou seja, o valor mais alto e obtivemos o valor de -33,13 dBm para o primeiro dia e de -38,75 dBm para o segundo dia.

Após a análise desse conjunto de dados coletado em campo, verificamos que a chuva causa uma atenuação na transmissão de ondas eletromagnéticas na tecnologia LTE, e identificamos o valor da atenuação média de 3,42 dB, atenuação mediana de 3,97 dB e a diferença dos valores mínimos é de 4,48 dB e máximo de 5,62 dB.

Para uma análise mais completa, foi escolhido um local na área de cobertura para verificar o nível de RSSI com a presença de sol e com a presença de chuva. O local escolhido do primeiro dia (Sol) de coleta de dados com a distância da ERB de 278,90 metros (figura 29).

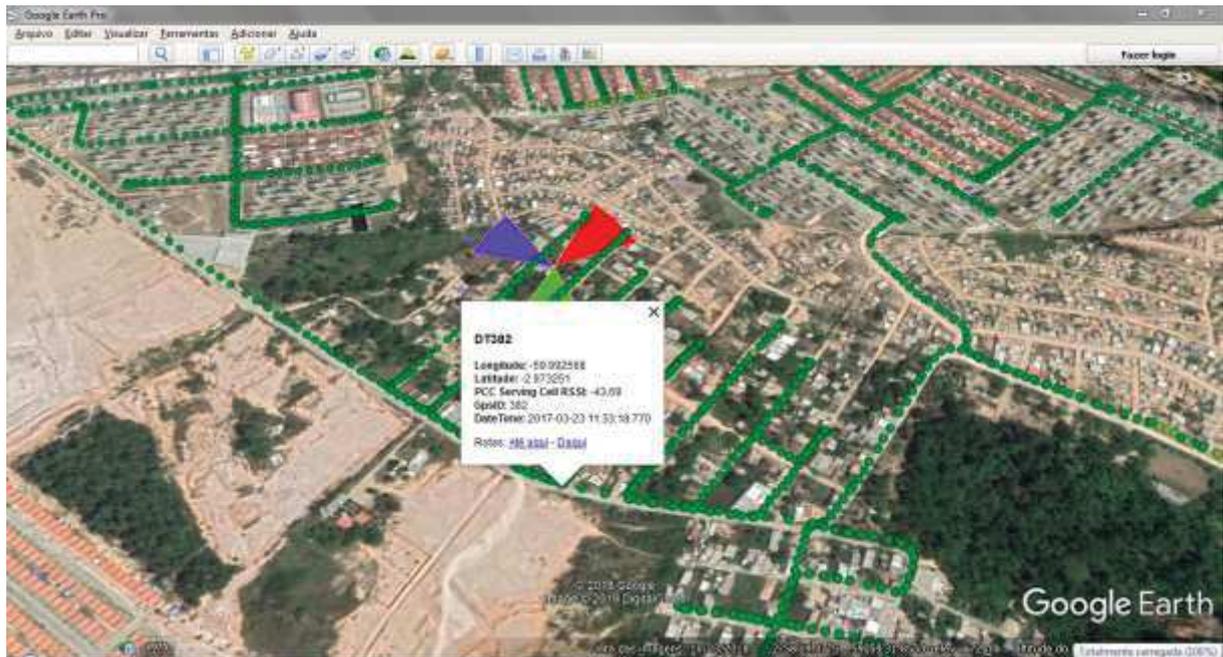
**Figura 29:** Distancia da ERB para o local de coleta de dados.



Fonte: Autor, 2019.

Este local, com visada direta para o segundo setor apresentou o nível de sinal de -43,69 dBm (figura 30).

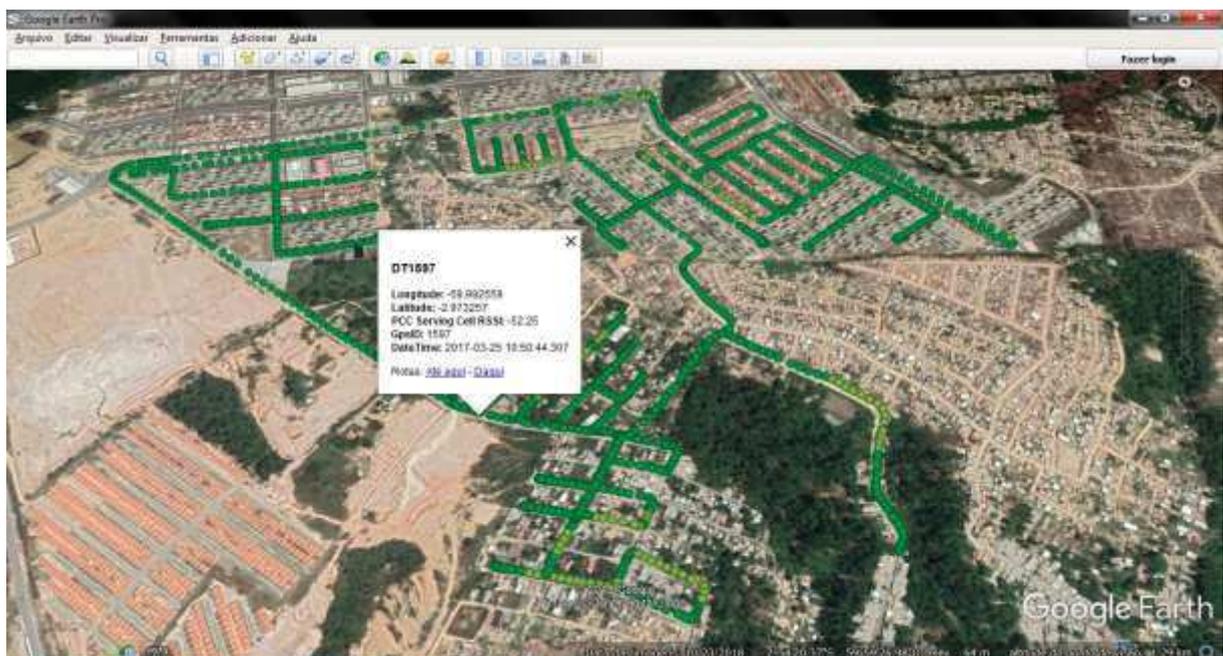
**Figura 30:** Local Escolhido para verificação de sinal com sol.



Fonte: Autor, 2019.

O mesmo local foi escolhido para o segundo dia (chuva), com a mesma distância da ERB de 278,90 metros (figura 30). Este local, visada direta para o segundo setor apresentou o nível de sinal de -52,25 dBm (figura 31).

**Figura 31:** Local Escolhido para verificação de sinal com chuva



Fonte: Autor, 2019.

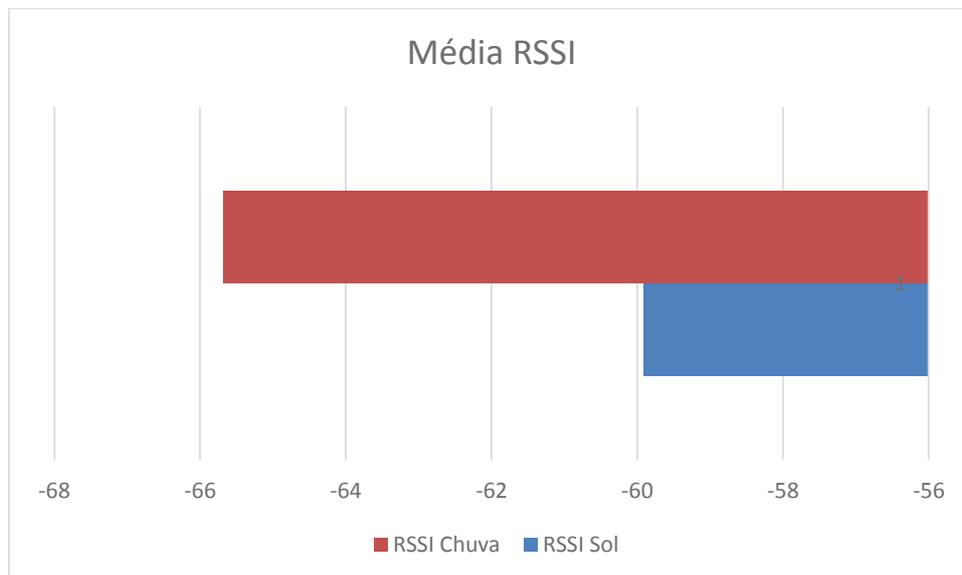
Ao analisar esse ponto isolado com visada direta e há 278,9 metros de distância da ERB, obtivemos uma atenuação com a presença de chuva de 8,57 dB, o dobro da média aritmética.

#### 4.2.2 Análise Comparativa do Ambiente Edificado

Após a extração das informações coletadas no primeiro e segundo dia no ambiente no ambiente edificações e com poucas arvores, como explicado anteriormente foi realizado um comparativo com um software proprietário MS Excel. Software para edição de planilhas eletrônicas e bastante utilizado para realizar cálculos.

No primeiro e segundo dia de coleta, obtivemos 1796 amostras para ter uma média confiável, após inserção de formulas na planilha gerada, foi calculada a média e obtivemos o valor de -59,91 dBm para o primeiro dia e de -65,68 dBm. (figura 32).

**Figura 32:** Média RSSI em Ambiente Arborizado



Fonte: Autor, 2019.

A seguir, Tabela com valores obtidos com a análise das informações da coletada em campo:

**Tabela 4:** Tabela com Valores da Análise dos dados Coletados

	RSSI Sol	RSSI Chuva	Atenuação (Chuva)
<b>Media</b>	<b>-59,91</b>	<b>-65,68</b>	<b>5,77</b>
<b>Mediana</b>	<b>-60,69</b>	<b>-65,31</b>	<b>4,62</b>
<b>Moda</b>	<b>-60,57</b>	<b>-64,56</b>	<b>3,99</b>
<b>Mínimas</b>	<b>-83,5</b>	<b>-86,13</b>	<b>2,63</b>
<b>Máximas</b>	<b>-36,81</b>	<b>-46,5</b>	<b>9,69</b>

Fonte: Autor, 2019.

Como explicado anteriormente, a Média é o resultado da soma de todas as informações de um conjunto de dados dividida pelo número de informações que foram somadas, obtivemos o valor de -59,91 dBm para o primeiro dia e de -65,68 dBm para o segundo dia de coleta de dados.

A Mediana o número que ocupa a posição central da lista a mediana poderá ser o valor do meio de um conjunto de dados. E obtivemos o valor de -60,69 dBm para o primeiro dia e de -65,31 dBm para o segundo dia.

A Moda é o valor mais frequente de um conjunto de amostras, o valor encontrado é -60,71 dBm para o primeiro dia e de -64,56 dBm para o segundo dia.

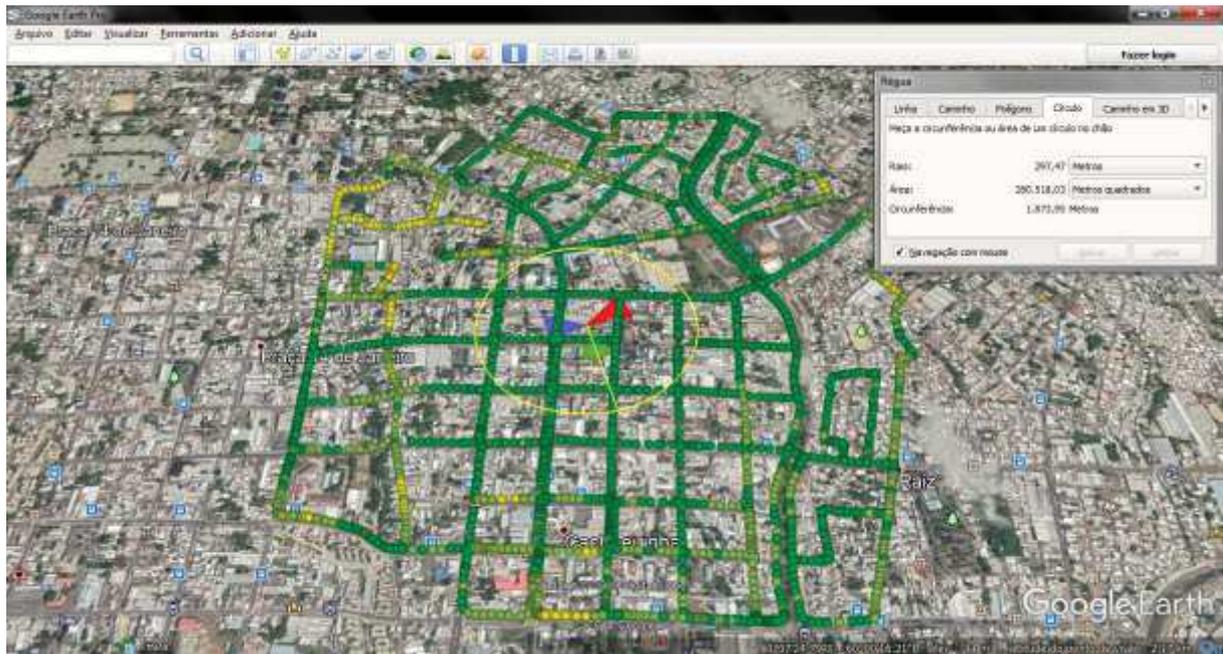
A Mínima, e o valor mais baixo de um conjunto de dados e obtivemos o valor de -83,5 dBm para o primeiro dia e de -86,13 dBm para o segundo dia.

A Máxima, é o maior valor encontrado em um conjunto de dados, obtivemos o valor de -36,81 dBm para o primeiro dia e de -46,5 dBm para o segundo dia.

Após a análise desse conjunto de dados coletado em campo, verificamos que a chuva causa uma atenuação na transmissão de ondas eletromagnéticas na tecnologia LTE, e identificamos o valor da atenuação média de 5,77 dB, atenuação mediana de 4,62 dB e a diferença dos valores mínimos é de 2,63 dB e máximo de 9,69 dB.

Para uma análise mais completa, foi escolhido um local na área de cobertura para verificar o nível de RSSI com a presença de sol e com a presença de chuva. O local escolhido do primeiro dia (Sol) de coleta de dados com a distância da ERB de 297,47 metros (figura 33).

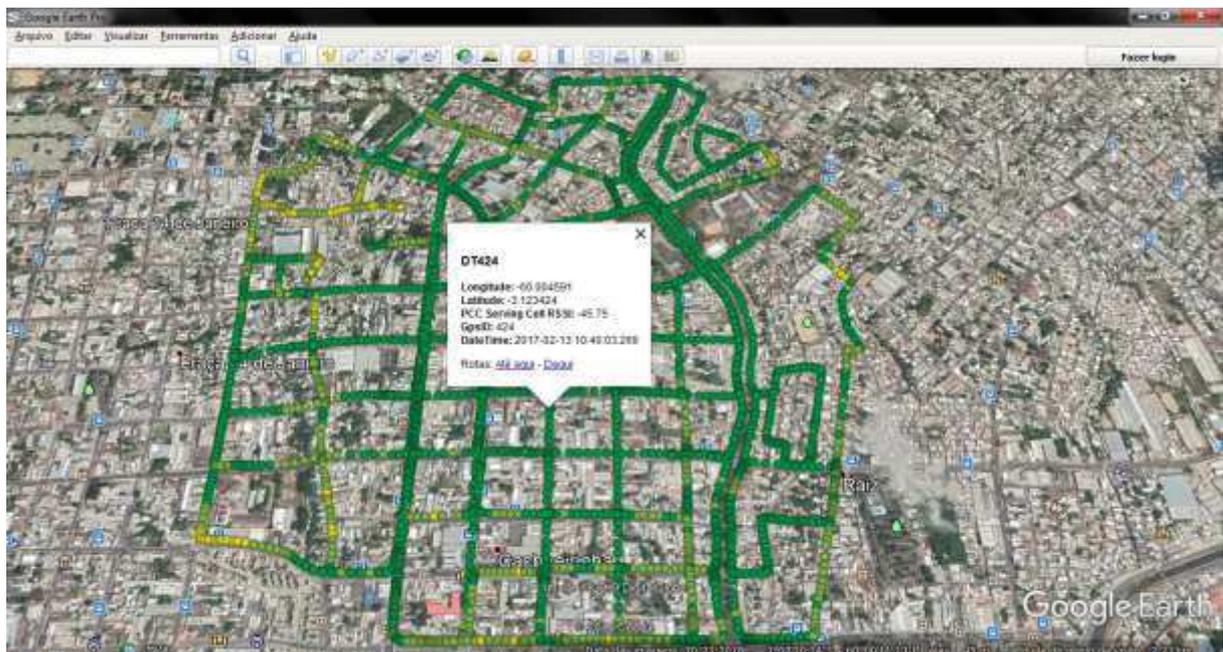
**Figura 33:** Distancia da ERB para o local de coleta de dados.



Fonte: Autor, 2019.

Este local, com visada direta para o segundo setor apresentou o nível de sinal de -45,75 dBm (figura 34).

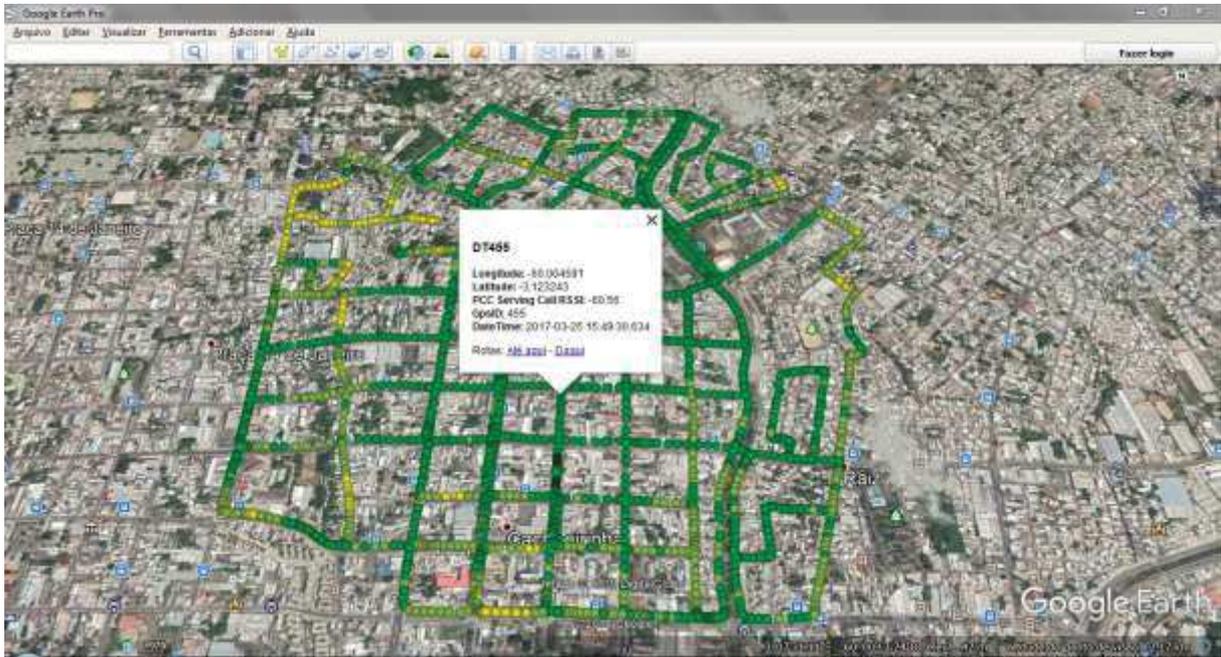
**Figura 34:** Local Escolhido para verificação de sinal com sol



Fonte: Autor, 2019.

O mesmo local foi escolhido para o segundo dia (chuva), com a mesma distância da ERB de 297,47 metros (figura 34). Este local, visada direta para o segundo setor apresentou o nível de sinal de -60,56 dBm (figura 35).

**Figura 35:** Local Escolhido para verificação de sinal com chuva



Fonte: Autor, 2019.

Ao analisar esse ponto isolado com visada direta que está há 297,47 metros de distância da ERB, obtivemos uma atenuação com a presença de chuva de 14,81 dB, quase três vezes o valor da média aritmética.

## 5 CONCLUSÃO

Diante das altas taxas de Precipitação Pluviométrica que atingem a Região amazônica e principalmente a cidade de Manaus – AM durante o período chuvoso, também conhecido como Inverno amazônico. Podemos desenvolver uma análise dos efeitos que essas precipitações causam na propagação de ondas eletromagnéticas.

A formulação do problema foi essencial para a construção da análise. Inicialmente a elaboração dos requisitos necessários para a identificação das falhas de cobertura causadas pela precipitação pluviométrica foi pensado em todos os recursos necessários e disponíveis para a obtenção dos resultados esperados. Foi escolhido o software Genex Probe para a coleta de dados recebidos pelo equipamento de acesso a rede móvel. Foi levado em consideração outros softwares disponíveis no mercado, mas suas licenças são em torno de \$10.000 (10 mil Dólares) e no momento possuía apenas a licença desde software, foi o requisito mais importante o que facilitou toda a coleta de dado em campo.

Na execução inicial da coleta de dados, houve problemas em identificar quais dias que ocorreriam a precipitação pluviométrica nos locais escolhidos e também quais os dias de sol intenso, que foi facilmente resolvido com informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE no seu sítio eletrônico.

Com os dados coletados nos locais previamente escolhidos, em ambiente com bastante arborizada e poucas edificações em condições climáticas opostas e também local densamente edificado e com pouca arborização, foi iniciado a análise dos dados coletados com o software MS Excel, pois a licença do software específico para esse tipo de análise de dados é muito cara, e tornando a pesquisa inviável.

Foi realizado um comparativo dos níveis de sinais de RSSI, ou seja, o sinal eletromagnético “puro” da tecnologia de quarta geração, sem a interferência de ruídos da demodulação e outros ocasionado por esse processo. Ao concluir essa análise, podemos identificar que a precipitações pluviométrica causam uma atenuação média de 3.42 dB em ambiente arborizado com poucas edificações e para ambiente bastante Edificações e pouco arborizado foi de 5,769 dB.

Este trabalho prova que as precipitações pluviométricas na região amazônica, principalmente na cidade de Manaus – AM, mesmo com baixo volume causam uma atenuação na onda eletromagnética, e dependendo da situação poderá até inviabilizar cobertura deste serviço essencial para a população. Esse problema poderá ser

solucionado com a instalação de mais ERB's e assim diminuindo a cobertura das Células Existente, maximizando e tornando o serviço de telefonia móvel eficiente.

## **6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Recomenda-se alguns temas para trabalhos futuros:

- (i) Dimensionamento de cobertura de Rádio Frequência para instalações de novas ERB's;
- (ii) Análise de Performance Downlink e Uplink em ambientes Indoors;
- (iii) Análise de Penetração de Rádio Frequência em Ambientes Indoors;
- (iv) Análise de Performance Downlink e Uplink com o Carrier Agregation na tecnologia LTE.

## REFERÊNCIAS

DIAS, Maurício H. C.; ASSIS, Mauro S. **Modelo de Atenuação por Vegetação em Bosques Urbanos na Faixa UHF**. Artigo XXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES – SBt 2009.

ANDRÉ, Bruno Bezerra. **Predição de Cobertura de Rede Celular LTE em Brasília com Utilização de Femtocélulas**. Monografia de Graduação. Universidade de Brasília - Departamento De Engenharia Elétrica. Disponível em: < [http://bdm.unb.br/bitstream/10483/13528/1/2012\\_BrunoBezerraAndre.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/13528/1/2012_BrunoBezerraAndre.pdf)> Acesso em: 10/05/2018.

KOTTKAMP, M.; RÖSSLER, A.; SCHLIENZ, J. **LTE Release 9 Technology Introduction**. Whitepaper Rohde-Schwarz Disponível em: < [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma191/1MA191\\_0E\\_LTE\\_release\\_9\\_technology.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma191/1MA191_0E_LTE_release_9_technology.pdf) > Acesso em: 13/05/2018.

PORTELA, Fábio Malet. **Mecanismos para Análise de Potência de Sinal em Dispositivos Móveis**. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/126047/000971086.pdf>>. Acesso em: 15/05/2018.

FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. **Clima da Amazônia**. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em: 19/05/2018.

CARVALHO, Ricardo Moreira de. **Diferenças entre LTE-FDD e LTE-TDD**. Disponível em: <<http://www.ricardomcarvalho.pt/blog/diferencas-entre-os-modos-lte-fdd-e-lte-tdd/>>. Acesso em: 10/06/2018.

PASINATO, Marden Braga. **UMTS, HSDPA, HSUPA e LTE**. Engenharia de Computação e Informação - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Disponível em:

<[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/marden/index.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/marden/index.html)>.

Acesso em: 15/06/2018.

BOAVENTURA, Alberto. **4G e o LTE**. Academia de Tecnologia OI. Disponível em:<[https://pt.slideshare.net/amsboaventura/lte-alberto-2011-v11?qid=d20c6bc8-a422-4fad-9b82-a23347f5523e&v=&b=&from\\_search=2](https://pt.slideshare.net/amsboaventura/lte-alberto-2011-v11?qid=d20c6bc8-a422-4fad-9b82-a23347f5523e&v=&b=&from_search=2)>. Acesso em: 13/07/2018.

NOHRBORG, Magdalena. **LTE**. 3rd Generation Partnership Project – 3GPP. Disponível em: <<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: 22/07/2019.

TELECO. **4G: Frequências e licitações**. São José dos Campos SP – Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/4g\\_brasil\\_lic.asp](https://www.teleco.com.br/4g_brasil_lic.asp)>. Acesso em: 28/07/2018.

TELECO. **LTE: Voz sobre LTE**. São José dos Campos SP – Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina\\_5.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_5.asp)>. Acesso em: 28/07/2018.

FORTUNA, Bianca Couto; SILVA, Henry Karla; MENDES, Luís Augusto Mattos. **TELEFONIA CELULAR: OS RECURSOS E A PORTABILIDADE**. Artigo Revista Eletrônica 2 Edição. Faculdade Santos Dumont. Disponível em: <<https://fsd.edu.br/revistaeletronica/arquivos/2Edicao/artigo13.pdf>> Acesso em: 20/08/2018.

GUEDES, Luís Cesar dos Santos; VASCONCELOS, Renan Ribeiro de. **UMTS, HSPA e LTE**. Trabalho Final de Redes de Computadores I. Grupo de Teleinformática e Automação – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/09\\_1/versao-final/umts/index.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/index.html)>. Acesso em: 11/01/2019.

CAMARA DOS DEPUTADOS FEDERAIS. **A Situação Do Serviço De Telefonia Na Amazônia**. Comissão da Amazônia, Integração Nacional e de Desenvolvimento Regional da Câmara dos Deputados. Disponível em: <[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/2741/servico\\_telefonia\\_parte1.pdf](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/2741/servico_telefonia_parte1.pdf)>. Acesso em: 19/01/2019.

COMPUTERWORD. **SKY Inaugura Rede De Banda Larga 4G Em Brasília**. Disponível em: <<https://computerworld.com.br/2011/12/13/sky-inaugura-rede-de-banda-larga-4g-em-brasilia/>>. Acesso em: 25/01/2019.

ARIMAS. **RSRP and RSRQ Measurement in LTE**. Disponível em: <<https://blog.arimas.com/78-rsrp-and-rsrq-measurement-in-lte/>>. Acesso em: 02/02/2019.

ROLIN, Evandro Cherubini. **ANÁLISE DA QUALIDADE E DO DESEMPENHO DA COBERTURA CELULAR LONG TERM EVOLUTION EM CURITIBA, PARANÁ**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36341/R%20-%20D-%20EVANDRO%20CHERUBINI%20ROLIN.pdf>>. Acesso em: 10/02/2019.

RAPPAPORT, Theodore S. **COMUNICAÇÕES SEM FIO: PRINCÍPIOS E PRÁTICAS**, 2ª Edição. São Paulo: Editora PEARSON, março de 2011.

CAVALCANTI, F. Rodrigo P. et al. **COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2018.

GLOBO G1. **Em Manaus, início de 2017 tem maior volume de chuva em 5 anos, diz Inmet**. Manaus - AM - Disponível em: <<http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2017/02/em-manaus-inicio-de-2017-tem-maior-volume-de-chuva-em-5-anos-diz-inmet.html>>. Acesso em: 20/07/2019.

## ANEXO

## Anexo 1: Conteúdo de um Log de Drive Test

No.	Longitude	Latitude	Date Time	Serving RSRP_All Logs	Serving PCI_All Logs	Serving RSRQ_All Logs	Serving RSSI_All Logs	Serving DL EARFCN_All Logs	Serving PCC SINR_All Logs
7462	-60.00732957	-3.12025414	2017-02-13 11:17:44.500	-76.63	176	-5.56	-50.94	37900	15.95
7463	-60.00731832	-3.12010413	2017-02-13 11:17:45.500	-69.88	176	-4.63	-45.19		23.15
7464	-60.00731764	-3.12009519	2017-02-13 11:17:46.500	-71.38	176	-4.78	-45.50	37900	18.85
7465	-60.00730457	-3.11992536	2017-02-13 11:17:47.500	-76.19	176	-4.94	-50.31	37900	21.55
7466	-60.00730422	-3.11992125	2017-02-13 11:17:48.500	-77.63	176	-6.06	-51.50	37900	17.55
7467	-60.00729082	-3.11976493	2017-02-13 11:17:49.500	-81.38	176	-6.25	-54.69	37900	15.55
7468	-60.00728931	-3.11975342	2017-02-13 11:17:50.500	-80.44	176	-8.31	-52.13	37900	13.40
7469	-60.00727228	-3.11962237	2017-02-13 11:17:51.500	-85.88	176	-9.44	-56.38	37900	11.60
7470	-60.00726790	-3.11956497	2017-02-13 11:17:52.500	-87.81	176	-9.38	-58.13	37900	12.50
7471	-60.00726790	-3.11956497	2017-02-13 11:17:53.500	-87.69	176	-9.56	-58.13	37900	11.40
7472	-60.00725568	-3.11947585	2017-02-13 11:17:54.500	-87.19	176	-8.75	-58.38	37900	13.40
7473	-60.00725271	-3.11945939	2017-02-13 11:17:55.500	-90.31	176	-8.81	-61.50		7.50
7474	-60.00723582	-3.11939650	2017-02-13 11:17:56.500	-91.81	176	-9.41	-61.38	37900	8.30
7475	-60.00723582	-3.11937991	2017-02-13 11:17:57.500	-89.94	176	-9.84	-60.69	37900	11.15
7476	-60.00723582	-3.11937985	2017-02-13 11:17:58.500	-88.81	176	-9.63	-59.13	37900	12.25
7477	-60.00723582	-3.11937704	2017-02-13 11:17:59.500	-89.44	176	-9.88	-59.56	37900	13.90
7478	-60.00723582	-3.11937704	2017-02-13 11:18:00.500	-88.94	176	-10.06	-58.81	37900	6.95
7479	-60.00723582	-3.11937904	2017-02-13 11:18:01.500	-89.69	176	-9.75	-58.69	37900	8.25
7480	-60.00723582	-3.11937933	2017-02-13 11:18:02.500	-88.75	176	-10.13	-58.25	37900	13.90
7481	-60.00724001	-3.11938038	2017-02-13 11:18:03.500	-91.50	176	-10.31	-60.75	37900	8.65
7482	-60.00724040	-3.11938142	2017-02-13 11:18:04.500	-89.06	176	-9.63	-59.25		13.05
7483	-60.00724040	-3.11938220	2017-02-13 11:18:05.500	-89.63	176	-7.97	-60.72	37900	13.60
7484	-60.00724040	-3.11938220	2017-02-13 11:18:06.500	-90.69	176	-6.88	-62.47	37900	11.30

Fonte: Autor, 2017.