



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia
Curso: Engenharia de Telecomunicações

Disciplina: TT907-L – Trabalho de conclusão de curso
Professor/Orientador: Rangel Arthur

"Análise de cobertura dos sinais de transmissão móvel celular
na cidade de Leme, no Brasil e no mundo"

Alunos:

Sérgio R J Alves Júnior 147919

Vitor Hernandes Burin 149446

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus que nos possibilitou chegar até aqui, aos nossos professores que ajudaram ao nosso desenvolvimento, evolução e acompanharam nossa trajetória durante toda a graduação. Em especial o nosso orientador Rangel Arthur que, quando ingressamos na universidade, nos incentivou a um projeto parecido com este, e também por ter toda a paciência, apoio e aprendizado que nos transmitiu. Agradecemos também aos nossos amigos, familiares pelo apoio, força e incentivo que sempre nos deram, e a todos que colaboraram para que nosso trabalho fosse concluído.

Epígrafe

“A arte desafia a tecnologia, e a tecnologia inspira a arte”.

John Lasseter

Resumo

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um panorama do processo evolutivo das tecnologias de redes móveis, bem como suas coberturas e gerações. Ele cita as principais tecnologias, padrões e frequências utilizadas por cada geração. A crescente expansão no mercado de comunicações móveis, resulta na necessidade de implementar uma rede de cobertura maior. Além disso, hoje as redes móveis possuem características com acesso à *internet* em alta velocidade, fazendo com que as Operadoras entreguem além de uma rede de cobertura maior, prestações de serviços de qualidade, sem sobrecarregar suas estações. Por fim, temos o 5G cada vez mais próximos e a competição entre as Operadoras nas disputas pela cobertura. A infraestrutura será o grande desafio dessa nova tecnologia no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Telefonia celular. Cobertura. Largura de Banda, 5G, MIMO

Abstract

This Course Conclusion Paper presents an overview of the evolutionary process of mobile network technologies, as well as their coverage and skills. It mentions the main technologies, standards and frequencies used by each generation. The growing expansion in the mobile communications market, results in the need to implement a larger coverage network. In addition, today, as mobile networks have resources with high-speed internet access, to make Operators deliver, in addition to a larger coverage network, quality service conditions, without

overloading their stations. Finally, we have 5G increasingly closer and competition between operators in disputes over coverage. The infrastructure will be the great challenge of this new technology in Brazil.

KEYWORDS: Cellular telephony. Roof. Bandwidth, 5G, MIMO

Lista de Siglas

SMS - Short Message Service, ou Serviço de Mensagens Curtas.....	pág 7
AMPS - Advanced Mobile Phone System, ou Sistema de Telefonia Móvel Avançado.....	pág 7
GSM - Global System for Mobile Communications.....	pág 7
GPRS - General Packet Radio Service.....	pág 8
EDGE - Enhanced Data Rates.....	pág 8
ITU - International Telecommunications Union.....	pág 8
W-CDMA - Wide-Band Code-Division Multiple Access.....	pág 8
HSPA - High Speed Packet Access.....	pág 8
LTE - Long Term Evolution.....	pág 9
VoLTE - Voice over LTE.....	pág 9
TDD - Time Division Duplex.....	pág 16
FDD - Frequency Division Duplex.....	pág 16
IoT - Internet of Things.....	pág 9
UMTS - Universal Mobile Telecommunications Service.....	pág 11
EV-DO - Evolution-Data Optimized.....	pág 11
ERB - Estação Rádio Base.....	pág 12
IMT-2000 - International Telecommunication Union.....	pág 13
WiMAX - Wireless MAX-Advanced.....	pág 14
LTE-A (Long Term Evolution-Advanced).....	pág 15
MIMO - Multiple Input Multiple Output.....	pág 15
WRC-19 - World Radiocommunication Conference 2019.....	pág 23
STTD - Space Time Transmit Diversity.....	pág 29
SM - Spatial Multiplexing.....	pág 30
AT&T (abreviação em inglês para American Telephone and Telegraph.....	pág 33
DSS - Compartilhamento Dinâmico de Espectro.....	pág 38
Anatel - Agência Nacional das Telecomunicações.....	pág 38
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.....	pág 39
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.....	pág 46
RSRP - Potência Recebida no Sinal de Referência.....	pág 51

Lista de Figuras

Figura 1 - Uma torre de estação base de celular com várias antenas.....	pág 19
Figura 2 - Ponto de acesso Wi-Fi com várias antenas.....	pág 19
Figura 3 - Configuração MIMO.....	pág 20
Figura 4 - Matriz de canal MIMO.....	pág 21
Figura 5 - Matriz de canal Um para Um.....	pág 22
Figura 6 – Especificações do 5G.....	pág 23
Figura 7 - Espectro 5G.....	pág 24
Figura 8 - Fases 5G.....	pág 24
Figura 9 - Diferença do 4G para a rede 5G com a tecnologia Small Cells.....	pág 28
Figura 10 - Arquitetura Phantom Cell.....	pág 29
Figura 11 - 2G to 5G.....	pág 32
Figura 12 - Disputa tecnocomercial entre China e EUA.....	pág 35
Figura 13 - Cobertura 5G no MUNDO.....	pág 36
Figura 14 – Células Urbanas x Células Rurais.....	pág 41
Figura 15 – Antenas parabólicas.....	pág 43
Figura 16 – O futuro e já presente 5G.....	pág 45
Figura 17 - Mapa de cobertura do Brasil.....	pág 46
Figura 18 - Operadoras e suas Coberturas.....	pág 46
Figura 19 - Cobertura 4G.....	pág 47
Figura 20 - Cobertura Vivo na Cidade de Leme (SP).....	pág 52
Figura 21 – Velocidade Vivo na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).....	pág 52
Figura 22 - Cobertura Claro na Cidade de Leme (SP).....	pág 53
Figura 23 - Velocidade Claro na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).....	pág 53
Figura 24 - Cobertura TIM na Cidade de Leme (SP).....	pág 54
Figura 25 - Velocidade TIM na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).....	pág 54
Figura 26 - Cobertura OI na Cidade de Leme (SP).....	pág 55
Figura 27 - Velocidade OI na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).....	pág 55
Figura 28 – Sistema de Transmissão MIMO.....	pág 57
Figura 29 - Capacidade do Sistema MIMO em função da SNR.....	pág 58
Figura 30 – Taxa de upload e download do 3G e 4G da operadora CLARO (Leme).....	pág 61

Lista de Tabelas

Tabela 1 - 3G: Tecnologias de Celular.....	pág 11
Tabela 2 - 3G: Tecnologias de Celular.....	pág 12
Tabela 3 - Cobertura de Redes 3G no Brasil (Jan/20).....	pág 48
Tabela 4 - População coberta com tecnologia 3G no Brasil.....	pág 48

Sumário

Sumário

1.	Introdução	7
1.1	1G – A Pré-História das redes móveis.....	7
1.2	2G – Início da era digital.....	7
1.3	3G – Uma nova conquista, evolução enorme	8
1.4	4G – A evolução da Banda Larga Móvel.....	9
1.5	4.5G – Em direção ao 5G	9
1.6	5G – O aprimoramento da Internet das Coisas	9
2.	Especificações.....	10
2.1	3G – Padrões	10
2.2	Padrão UMTS (WCDMA/HSDPA):	11
2.3	Frequências.....	12
2.4	3G – Tecnologias	13
2.5	4/4.5G – Padrões	14
2.7	4/4.5G – Taxa de dados média para os usuários	16
2.8	Frequência	16
2.9	Velocidade e Latência	17
2.10	4/4.5 Tecnologias	17
2.11	O que é 5G	23
2.12	Device to device (D2D).....	27
2.13	Relays.....	28
2.15	Massive MIMO	31
3.	5G no Mundo	34
3.1	Coreia.....	35
3.2	Estados Unidos.....	36
3.3	China.....	37
4.	5G no Brasil	39
4.1	Espectro.....	41
4.2	5G, mas não "definitivo"	42
4.3	Terceiro na América do Sul	43
5.	Cobertura	43
5.1	Células urbanas, Células Rurais.....	44
5.2	Sinais de televisão via 5G.....	45
5.4	Brasil	49

5.5	Cobertura Leme	52
5.6	Planejamento de distribuição e parâmetros estabelecidos pelas operadoras.	53
5.8	Claro	55
5.9	TIM	56
5.10	OI	57
5.12	Observações Adicionais	62
6.	Conclusão e Trabalhos Finais	63
7.	Referências	65

Introdução

As siglas 2G, 3G, 4G e o 5G representam diferentes gerações de tecnologias em redes móveis, são responsáveis por realizar o acesso à Internet de smartphones, computadores, tablets, entre outros dispositivos, desde o SMS (mensagens de texto) até o acesso ilimitado a web, aplicativos, videoconferências.

1.1 1G – A Pré-História das redes móveis

A primeira geração de rede celular comercial foi introduzida no final dos anos 70, com padrões totalmente implementados sendo estabelecidos ao longo dos anos 80. O sistema era analógico e o mais conhecido era o AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) com velocidade semelhante à da rede discada.[1]

Em 1987, pela Telecom (hoje conhecida como Telstra), a Austrália recebeu sua primeira rede de telefonia celular utilizando um sistema analógico 1G. O 1G é uma tecnologia analógica e, geralmente, os telefones tinham uma vida útil da bateria fraca e a qualidade da voz era sem muita segurança e, às vezes, ocorria chamadas perdidas. Esses são os padrões de telecomunicações analógicos que foram introduzidos na década de 1980 e continuaram até serem substituídos pelas telecomunicações digitais 2G. A velocidade máxima de 1G é de 2,4 Kbps.

Vale ressaltar que o celular como conhecemos ainda não existia, e a rede 1G era usada principalmente para os telefones instalados em carros. Cada um tinha cerca de um quilo e um tamanho de mais ou menos 30 cm.[1]

1.2 2G – Início da era digital

A primeira rede digital foi a 2G, ou seja, segunda geração, baseada nos princípios do GSM (*Global System for Mobile Communications*), implantada na década de 1990.

Esta rede estabeleceu os parâmetros usados até hoje nas conversas por telefones móveis, mas ainda era muito iniciante para a troca de dados. Mesmo assim, a tecnologia 2G já permitia a troca de fotos, mensagens de texto, tudo via mensagens ou mais conhecido como SMS.

As coisas foram melhorando com o surgimento de novas tecnologias que ficaram conhecidas como 2,5G (padrão GPRS, *General Packet Radio Service*) e 2,75G (padrão EDGE, *Enhanced Data Rates*, com tráfego de 400 Kb/s). Nesse momento, já era possível acessar páginas próprias para o celular, com conteúdo reduzido e poucos detalhes. [1]

1.3 3G – Uma nova conquista, evolução enorme

O 3G teve seu nascimento em 2001 e foi o responsável pela popularização da internet móvel no mundo, ou seja, uma revolução. A partir dela passou a ser possível acessar diversos “mundos” novos, como o recurso de multimídia, fazer videoconferência, acesso a sites, e-mails, baixar vídeos, conseguir também o acesso a jogos online, entre outros. Esse tipo de rede ainda está em funcionamento no Brasil, e muita gente está conectada por meio dela neste momento.

O boom da Internet foi no final da década de 90 e levou à crescente demanda por Internet móvel. O sucesso fenomenal dessa tecnologia acabou enfraquecendo o 2G, assim fazendo com que o mercado criasse transmissão de dados móveis mais rápidas e eficientes, e naturalmente a rede 3G veio a sucedê-la. [1]

Além das transmissões de dados em alta velocidade, essa rede também possui outras características que a diferencia da anterior “2G”, como Internet em alta velocidade, roaming internacional e acesso avançado a multimídia.

Assim como as tecnologias anteriores, a rede celular 3G também envolveu esforços conjuntos de várias empresas de telecomunicações e conformidade com os padrões para garantir que a tecnologia fosse acessível a mais pessoas e capaz de um sistema se comunicar de forma transparente com outro. Seguindo então o padrão semelhante de G’s que a ITU (*International Telecommunications Union*) havia estabelecido no início da década de 90.

O 3G é baseado nos padrões WCDMA (*Wide-Band Code-Division Multiple Access*). É uma tecnologia de interface de rádio de banda larga onde oferece velocidades de dados de no máximo 2 Mbps. com velocidades mínimas de 200 kbps. Com tecnologias como o HSPA, este possui um serviço de transmissão de pacotes de dados que opera dentro do W-CDMA, permitindo transmissões de dados até 14Mbit/s dentro de uma banda de 5MHz e sua evolução, o HSPA+, as transmissões de dados chegaram a até 21 Mbps e ficaram conhecidas como 3G+. [2]

1.4 4G – A evolução da Banda Larga Móvel

Os padrões do 4G de dispositivos móveis são uma série de medidas que definem as demandas de uma rede 4G e os padrões que devem ser atendidos. O padrão comum existente especifica uma rede 4G como aquela que oferece 100Mb/s para indivíduos em movimento e que fornece 1Gb/s para um local imóvel ou que se desloque a uma velocidade lenta, ou que fique parada naquele local perfeito para instância. Há muitas variáveis envolvidas que degeneram profusamente a velocidade capaz de se utilizar. [1]

Algumas das vantagens do 4G sobre o 3G, são: velocidade de download, flexibilidade, custo, cobertura, latência reduzida, maior taxa de transferência de dados. Não se pode deixar de citar também a presença da VoLTE (*Voice over LTE*), basicamente, o 4G e o LTE (que utiliza um par de canais separados para transmitir e receber, aumentando a capacidade de dados em áreas urbanas, além de ter uma redução de latência) não oferecem acesso a chamadas de voz, por isso o “*Voice over LTE*” ou o VoLTE foi desenvolvido. O VoLTE permite fazer chamadas de voz usando 4G e até desfrutar de uma qualidade de voz mais clara e superior. [3]

1.5 4.5G – Em direção ao 5G

O 4,5G – também chamado de 4G+ ou *LTE Advanced* – é um aprimoramento sobre o 4G convencional em termos de banda, entregando de quatro a cinco vezes mais velocidade e segurança para o usuário. Essa tecnologia implementada no Brasil ganhou um suporte adicional com a faixa de 700 MHz, quando liberada pela Televisão Analógica. [1]

1.6 5G – O aprimoramento da Internet das Coisas

A premissa do padrão 5G é prover maior velocidade de transmissão de dados e menor latência, além disso, maior economia da bateria, assim suportando melhor a alta quantidade de novos dispositivos tecnológicos de IoT (Internet das coisas).

Assim, o 5G ajudará a alimentar a tecnologia chamada "Internet das Coisas". Isso significa conexões rápidas e confiáveis, não apenas em smartphones, mas também em toda a tecnologia "inteligente". Essa rede requer a infraestrutura adequada e amplamente distribuída para o transporte de grandes volumes de dados, permitindo um mundo verdadeiramente conectado e "inteligente".

Com sua conexão ultrarrápida, estável e consistente e tempo de latência zero (menores que 10ms), o 5G pode beneficiar muitos campos diferentes, incluindo comunicação, transporte, negócios, serviços de medicina e saúde, serviço público, agricultura, emergências, gerenciamento de riscos e entre outras áreas. [4]

2 Especificações

O objetivo da comunicação sem fio é fornecer comunicação confiável e de alta qualidade. Essa jornada de evolução foi iniciada em 1979 a partir de 1G e ainda continua até o 5G. Cada uma das gerações tem padrões que devem ser atendidos para usar oficialmente a terminologia G. Existem instituições encarregadas de padronizar cada geração de tecnologia móvel. Cada geração possui requisitos que especificam itens como taxa de transferência, atraso, entre outros, que precisam ser atendidos para serem considerados parte dessa geração. Cada geração foi construída com base na pesquisa e desenvolvimento ocorridos desde a última geração. [1]

2.1 3G – Padrões

A tabela 1 exibe os dois principais padrões para redes de tecnologia 3G. Como se pode notar, o UMTS tem como padrão a tecnologia WCDMA/HSDPA e possui uma banda por portadora de 5MHz, ao lado temos o CDMA 2000 com o padrão EV-DO e uma banda por portadora de valor igual a 1,25MHz.

Tabela 1 - Principais padrões para redes 3G.

Características	UMTS	CDMA 2000
Padrão	WCDMA/HSDPA	EV-DO
Banda por portadora	5 MHz	1,25 MHz
Evolução das operadoras que utilizam	GSM	CDMA
Órgão que define a padronização	3GPP	3GPP2

Pode-se notar também que o UMTS possui GSM como “Evolução das operadoras” e como Órgão definidor do padrão o 3GPP, já o CDMA 2000 possui o CDMA e 3GPP2, respectivamente para as mesmas características mencionadas. [3]

2.2 Padrão UMTS (WCDMA/HSDPA):

O *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) é tido como uma evolução do padrão GSM, com a sua implementação podendo inclusive aproveitar a estrutura deste, utiliza como interface radio o *Wideband CDMA* (WCDMA) e suas respectivas evoluções. Através da tabela 2 abaixo, pode-se notar a taxa de Downlink, Uplink, Canalização e Latência, para cada tecnologia e sua evolução, iniciado do WCDMA, depois HSPA e por último o HSPA+. [6]

Tabela 2 - Taxa de dados máx. teórica Nota: Down Link (ERB->Celular); Up Link (Celular->ERB).

Tecnologia	WCDMA(UMTS)	HSPA	HSPA+
<i>Downlink</i>	2,0 Mbps	7,2/14,4 Mbps	21/42 Mbps
<i>Uplink</i>	474 Kbps	5,76 Mbps	7,2/11,5 Mbps
Canalização (MHz)	5	5	5
Latência (ms)	250	70	30

2.3 Frequências

A maioria dos sistemas WCDMA são implantados nas bandas de frequência na região de 1885 - 2025 e 2110 - 2200 MHz alocadas pela UIT para 3G. Existem também implantações nas faixas de 850 MHz e 1900 MHz. Alguns especialistas desenvolveram também o WCDMA para a faixa de 900 MHz.[6]

Embora haja muitas bandas e frequências disponíveis agora para telecomunicações móveis, o 3G UMTS possuía um número de bandas reconhecidas que eram amplamente usadas para transportar esses serviços. [2]

Uma vantagem do uso do 3G UMTS era que o espectro em todo o mundo era bem coordenado, significando que os aparelhos celulares poderiam ter um número relativamente limitado de bandas se quisessem operar em qualquer lugar.[6]

2.4 3G – Tecnologias

O padrão 3G utiliza uma nova tecnologia chamada UMTS como sua arquitetura de rede principal - Sistema Universal de Telecomunicações Móveis. Essa rede combina aspectos da rede 2G com algumas novas tecnologias e protocolos para fornecer uma taxa de dados significativamente mais rápida. Com base em um conjunto de padrões usados para dispositivos móveis e telecomunicações móveis, usa serviços e redes que atendem às especificações da *International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)* da *International Telecommunication Union*. Um dos requisitos estabelecidos pelo IMT-2000 era que a velocidade deveria ser de pelo menos 200 Kbps para chamá-lo como serviço 3G.

3G tem suporte a serviços multimídia, juntamente com streaming, são mais populares. Em 3G, o acesso universal e a portabilidade entre diferentes tipos de dispositivos são possíveis (telefones, PDAs etc.). O 3G aumentou a eficiência do espectro de frequências, melhorando a forma como o áudio é compactado durante uma chamada, para que mais chamadas simultâneas possam acontecer na mesma faixa de frequência. O padrão IMT-2000 da União Internacional de Telecomunicações da ONU exige velocidades estacionárias de 2Mbps e velocidades móveis de 384kbps para um 3G "verdadeiro". A velocidade máxima teórica para HSPA + é 21,6 Mbps.

Assim como o 2G, o 3G evoluiu para 3.5G e 3.75G, à medida que mais recursos foram introduzidos para gerar o 4G. Um telefone 3G não pode se comunicar por meio de uma rede 4G , mas as gerações mais recentes de telefones são quase sempre projetadas para serem compatíveis com versões anteriores, para que um telefone 4G possa se comunicar por meio de uma rede 3G ou 2G.[2]

2.5 4/4.5G – Padrões

O padrão LTE-A (*Long Term Evolution-Advanced*) de quarta geração (4G) é para plataformas móveis locais e de área ampla de próxima geração que suportam altas taxas de dados de pico; transferência entre tecnologias de portadores sem fio; Redes principais de transporte de rádio e rádio por protocolo de Internet (IP) para serviços de voz, vídeo e dados; e suporte para controle e sinalização de chamadas. Com taxas de dados de pico de 100 Mbps em WANs e 1 Gbps em situações de mobilidade fixa ou de baixa mobilidade e redes com núcleo IP, acesso por rádio e transporte com IP, o 4G será implementado principalmente como LTE-A. [7]

LTE-Advanced e *Wireless MAX-Advanced* são as tecnologias de rede que realmente atendem às especificações "verdadeiras 4G", embora *LTE-Advanced* seja o mais comum nos mercados de consumo. Se o usuário estiver acessando LTE, *WiMAX* ou HSPA +, não estará realmente atualizado.

Mesmo o LTE - comumente comercializado no 4G LTE - não atende aos requisitos técnicos decididos em sua especificação. Para diferenciar o LTE Advanced e o *WiMAX-Advanced* das tecnologias 4G atuais, a ITU os definiu como "*True 4G*", embora raramente encontrado este termo. No entanto, mesmo a versão 8 do padrão *LTE-Advanced* suporta apenas velocidades máximas de download de 300 Mbps, abaixo do padrão *IMT-Advanced*. Não foi até a especificação do Release 10 que as redes LTE-A foram definidas para fornecer recursos de pico de *download* de 1 Gbps e upload de 500 Mbps. [7]

Como tal, o *hardware* de rede é dividido em categorias, dependendo de seus recursos para alcançar tais objetivos, e esta evolução nos Padrões como LTE e *WiMax* estão melhorando gradualmente para atender à especificação *IMT-Advanced*, como se pode ver na tabela 3.

Tabela 3 - Especificações da IMT-Advanced.

LTE Class	Speeds	Aggregation Options
Category 12	600 Mbps download 100 Mbps upload	3 x 20MHz download 2 x 20MHz upload
Category 10	450 Mbps download 100 Mbps upload	3 x 20MHz download 2 x 20MHz upload
Category 9	450 Mbps download 50 Mbps upload	3 x 20MHz download
Category 7	300 Mbps download 100 Mbps download	2 x 20MHz download 2 x 20MHz upload
Category 4	150 Mbps download 50 Mbps upload	2 x 10MHz download

2.6 LTE-A (*Long Term Evolution-Advanced*)

Os padrões também devem fornecer compatibilidade retroativa com os investimentos em tecnologias "4G" iniciais. Portanto, as implementações de LTE e LTE-A podem compartilhar largura de banda, o que contribuiu para implementações graduais mais acessíveis.

As especificações *LTE-Advanced* mais recentes do 3GPP: maior taxa de dados de pico, maior eficiência espectral e maior número de assinantes ativos simultaneamente, entre outras.

A agregação de operadora permite que os aparelhos receptores utilizem melhor as bandas de operadoras fragmentadas, a fim de baixar os dados mais rapidamente através do uso de técnicas de multi-antenas (MIMO) e tecnologias coordenadas de múltiplos pontos (CoMP). O padrão LTE-A suporta até cinco operadoras e até 100MHz. Alguns modems de ponta suportam duas ou três operadoras atualmente e, portanto, podem fornecer algumas conexões de dados bastante rápidas.

Também é importante observar que o LTE-A não se trata apenas da velocidade de download de aparelhos. Há também um grande esforço para melhorar a infraestrutura para atingir essas altas taxas de download. O LTE-A visa melhorar a velocidade dos dados usando uma combinação de macro células tradicionais e pequenas células amplamente melhoradas. O objetivo é oferecer uma melhor cobertura de alta velocidade na borda da rede e mais largura de banda, mas os transmissores terão que funcionar em diferentes faixas de frequência para evitar interferências. [8]

2.7 4/4.5G – Taxa de dados média para os usuários

O LTE foi desenvolvido para operar em espectro espalhado para *Frequency Division Duplex* (FDD) e espectro não espalhado para *Time Division Duplex* (TDD).

Para que um sistema de rádio LTE facilite a comunicação bidirecional, é necessário implementar um esquema duplex para que um dispositivo possa transmitir e receber sem colisão. Para alcançar altas taxas de dados, o LTE opera full duplex, através do qual a comunicação *downlink* (DL) e *uplink* (UL) ocorre simultaneamente, separando o tráfego DL e UL por frequência (por exemplo, FDD) ou períodos (por exemplo, TDD). Embora menos eficiente e mais eletricamente complexo de implantar, o FDD tende a ser mais comumente implantado pelas operadoras devido ao reaquecimento dos acordos de espectro 3G existentes. Em comparação, a implantação do TDD requer menos espectro, além de eliminar a necessidade de faixas de proteção, permitindo um espalhamento de espectro mais eficiente. A capacidade UL / DL também pode ser ajustada dinamicamente para atender à demanda, simplesmente dedicando mais tempo de antena entre si. [9]

2.8 Frequência

No 4G LTE, o Mobitel usa apenas a banda de espectro de 1800 MHz. Mas com a tecnologia 4.5G, a Mobitel implementou a banda de espectro de 900 MHz e a banda de 2100 MHz, além da banda de 1800 MHz já existente. [8]

MIMO 4x4 (*Multiple-Input-Multiple-Output*): Este sinal é transmitido por 4 caminhos usando 4 sistemas de antena transmissora simultaneamente. Isso melhora a velocidade dos dados e a estabilidade do download. Para 4G LTE, apenas 2x2 MIMO é utilizado.

256 QAM (modulação de amplitude em quadratura): 4.5G usa uma técnica de modulação mais alta em comparação com 4G LTE (64 QAM). [9]

2.9 Velocidade e Latência

De acordo com as velocidades teóricas de rajada, o Mobitel 4G LTE pode subir até 100 Mbps, enquanto as velocidades teóricas de rajada para 4.5G seriam de cerca de 300 Mbps. No entanto, a velocidade média de download do Mobitel LTE é de cerca de 14 Mbps (velocidade média do *Okkla speedtest*), enquanto 4,5G seria 2x-3x.

A latência de 4.5G permanece a mesma do 4G. [8]

2.10 4/4.5 Tecnologias

Os dados de transferência precisam ser empacotados e enviados para que outros pontos da rede possam interpretá-los. As redes mais antigas usam a tecnologia de comutação de circuitos, um termo que se refere ao método de comunicação. Em um sistema de comutação de circuitos, uma conexão é estabelecida diretamente com o alvo através da rede, e a totalidade da conexão, seja uma ligação telefônica ou uma transferência de arquivos, acontece por meio dessa conexão.

As vantagens de uma rede comutada por circuito incluem um tempo de conexão mais rápido e menos chance de a conexão cair. As redes mais recentes aproveitam a tecnologia de comutação de pacotes, um protocolo moderno que pode capitalizar o número muito maior de pontos conectados em todo o mundo. Em uma rede de comutação de pacotes, suas informações são divididas em pequenos blocos que são enviados ao seu destino por qualquer caminho atualmente mais eficiente. Se um nó sair da sua conexão nas redes de comutação de circuitos, é necessário se reconectar, mas em uma rede de comutação de pacotes, o próximo pacote buscará um caminho diferente.

Como as redes de voz ainda usam a tecnologia de comutação de circuitos, tornou-se necessário reconciliar a diferença entre estruturas de rede mais antigas e mais recentes. Alguns métodos diferentes foram adotados para lidar com o problema, e a maioria das operadoras optou por implantar uma das duas opções que preservavam seu controle sobre os minutos utilizados.

Eles fazem isso permitindo que o telefone retorne aos padrões de comutação de circuitos quando usados para fazer ou receber uma chamada ou usando a comunicação de comutação de pacotes para dados e a comutação de circuitos para voz ao mesmo tempo. A terceira opção é simplesmente executar o áudio da voz como dados nas novas redes LTE, um método que a maioria das empresas evitou por um tempo, provavelmente porque tira o poder de cobrar facilmente por minutos de voz. Voice over LTE (VoLTE) é basicamente o que já acontece quando você faz uma chamada pelo Skype ou uma conexão de áudio do *FaceTime* com outro usuário, com áudio de alta resolução e velocidades de conexão mais rápidas. As chamadas VoLTE e *Wi-Fi* estão ficando mais populares agora.

Outro importante conceito envolve o MIMO, que significa Multiple-input multiple-output (múltiplas entradas e saídas múltiplas). Ainda que envolva várias tecnologias, o MIMO pode fundamentalmente ser reduzido a este único princípio: uma rede sem fio que permite transmitir e receber de mais de um sinal de dados, isto simultaneamente, no mesmo canal de rádio. [10]

Nessa técnica, o mesmo sinal é recebido por meio de múltiplas antenas no receptor ou transmitidas através de várias antenas no transmissor aumentando assim a confiabilidade da transmissão. Assim, várias antenas podem ser usadas para fornecer ganho de diversidade e aumentar a confiabilidade dos links sem fio se ambos transmitirem e receber diversidade são considerados.

Na multiplexação espacial, vários fluxos independentes podem ser transmitidos simultaneamente, aumentando assim a velocidade de transmissão. Na técnica de multiplexação, a velocidade de transmissão máxima alcançável pode ser a mesma que a capacidade do canal MIMO, mas no caso da técnica de diversidade o alcançável a velocidade de transmissão é muito inferior à capacidade do canal MIMO.

A indústria de comunicação sem fio está experimentando atualmente um crescimento exponencial prolongado na demanda por tráfego de rede sem nenhum sinal de que esteja diminuindo, o mesmo é esperado para o número de dispositivos conectados. As redes atuais estão atingindo seus limites de capacidade em relação as camadas físicas, especialmente em áreas urbanas altamente povoadas com uma alta densidade de dispositivos conectados.

O grande desafio é, como aumentar a capacidade da rede para corresponder ao aumento exponencial da demanda de tráfego. A capacidade total de uma rede sem fio está diretamente relacionada ao rendimento da área (em bps por unidade área) da rede, que é uma combinação de três fatores multiplicativos:

Area Throughput(bps area^{-1})

$= \text{Cell Density} (\text{cell area}^{-1}) \cdot \text{Available Spectrum} (\text{Hz}) \cdot \text{Spectral Efficiency} (\text{bps Hz}^{-1} \text{ cell}^{-1})$

Onde:

Area Throughput: Taxa de transferência em uma determinada área.

Cell Density: Densidade de dispositivos conectados em uma determinada área.

Available Spectrum: Espectro Disponível.

Spectral Efficiency: Eficiência Espectral.

Ou seja, para termos uma maior taxa de transferência, necessitamos de um número maior de espectros de frequência para comunicações sem fio, aumentando a densidade de dispositivos conectados, melhorando assim a eficiência espectral. Então com a tecnologia MIMO melhorou a eficiência espectral aumentando a capacidade do sistema de comunicação sem fio sem nenhum aumento na largura de banda disponível. Nas figuras a seguir temos dois exemplos dessa tecnologia, onde a figura 1 mostra uma torre base de celular e a figura 2 um simples ponto de acesso Wifi, ambos com várias antenas, acredito que muitas pessoas já viram a torre pelas cidades e o ponto de acesso à internet em suas casas ou em escritórios e etc. [10]

Figura 1 - Uma torre de estação base de celular com várias antenas.

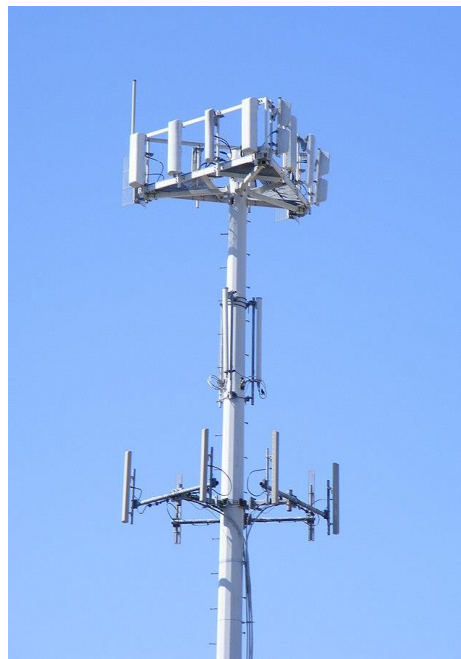


Figura 2 - Ponto de acesso Wi-Fi com várias antenas.



Considere duas antenas de transmissão e duas antenas de recepção, que adicionarão um grau de liberdade. Aqui, os coeficientes do canal são considerados independentes e não correlacionados de modo que a recuperação do sinal, ou seja, x_0 e x_1 , será fácil para o receptor. A capacidade de um canal MIMO aumentará linearmente devido ao ganho de multiplexação espacial. A configuração MIMO é mostrada na figura 3, a seguir:

Figura 3 - Configuração MIMO.

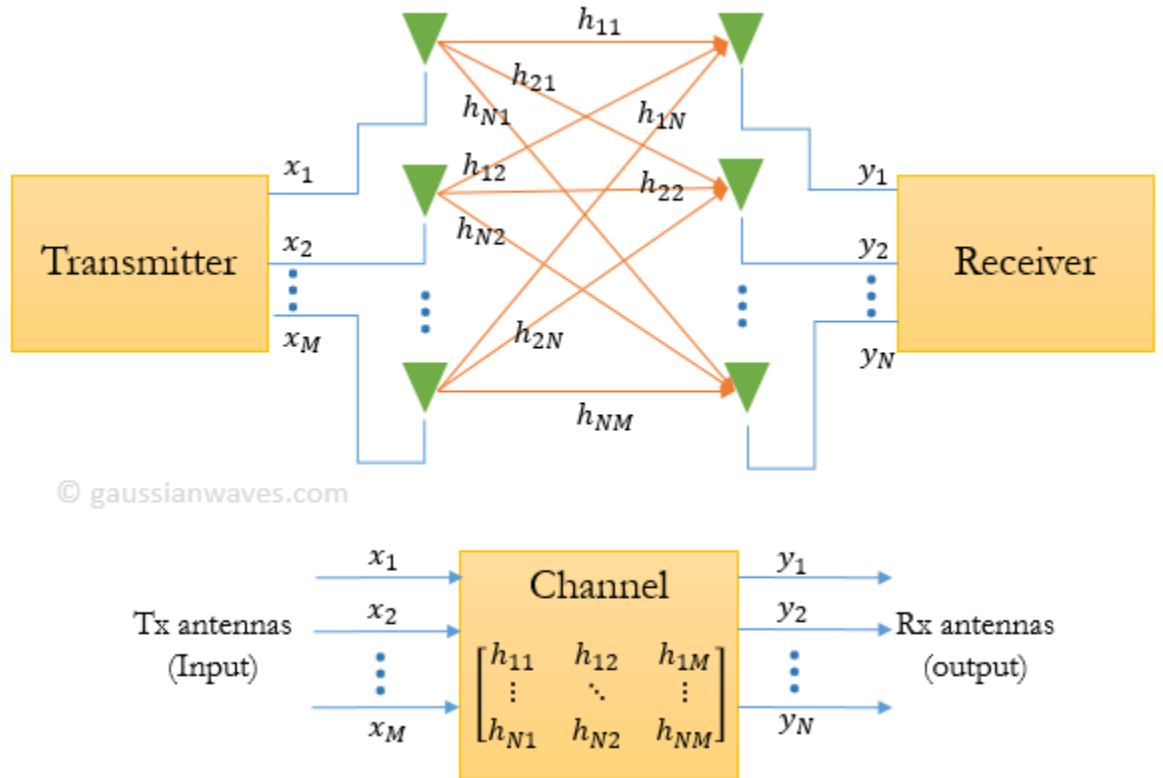


No rádio, MIMO é o uso de várias antenas em Tx e Rx (como pode ver o desenho da figura 3) para melhorar o desempenho da comunicação. MIMO oferece um aumento significativo na taxa de transferência de dados e alcance do link sem largura de banda adicional ou potência de transmissão aumentada. MIMO atinge esse objetivo por espalhar a mesma potência de transmissão total sobre as antenas para alcançar um ganho de array que melhora a eficiência espectral, ganho de diversidade que melhora a confiabilidade do link. MIMO refere-se a uma tecnologia específica, para enviar e receber mais de um sinal de dados, com o mesmo canal de rádio simultaneamente por meio de propagação multicaminho. A propagação natural de múltiplos caminhos podem ser explorada para transmitir múltiplos fluxos de dados independentes usando antenas co-localizadas e processamento multidimensional conhecido como multiplexação espacial.

Essa multiplexação espacial dará um ganho de multiplexação que leva ao aumento da capacidade do sistema de acordo com $C = N \cdot B \cdot \log(1 + \text{SNR})$, onde N é o número de antenas de transmissão, B é a largura de banda disponível e C é a capacidade do sistema.

Considere $\mathbf{X} \in \mathcal{C}^n$ como sinal transmitido, $\mathbf{Y} \in \mathcal{C}^n$ como sinal recebido, $\mathbf{W} \sim \mathcal{CN}(0, N_0 \mathbf{I}_n)$ como ruído Gaussiano branco, então, o canal invariante no tempo é definido como: $\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{W}$, considere o seguinte modelo de canal MIMO, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4 - Matriz de canal MIMO.



A Matriz de canal $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{n \times n_M}$, dado por

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_M \end{bmatrix} \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \cdots & h_{NM} \end{bmatrix} \quad \mathbf{w} = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_M \end{bmatrix}$$

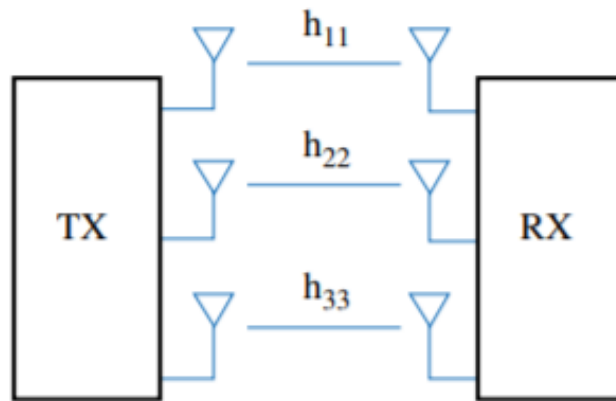
onde h_{ij} é o coeficiente de canal entre a i -ésima antena receptora e a j -ésima antena transmissora.

A matriz do canal é determinada e conhecida tanto pelo transmissor quanto pelo receptor. Isto é admitido como constante em todos os momentos. Este é um canal vetorial de Gauss. A capacidade é calculada decompondo o canal vetorial em um conjunto de gaussianas escalares paralelos independentes subcanais. A capacidade é calculada no receptor por meio do processamento de sinal multidimensional, o que é muito difícil e praticamente impossível. Para permitir cálculos fáceis, uma matriz de canal um para um é realizada sem interferência, ou seja, $h_{11}, h_{22}, \dots$. A figura 5, mostra a matriz de canal Um para Um, para se ter uma noção melhor de como funciona.

Para compreender a figura 5, considere a seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & 0 & 0 \\ 0 & h_{22} & 0 \\ 0 & 0 & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_r \end{bmatrix}$$

Figura 5 - Matriz de canal U_m para U_m .



2.11 O que é 5G

O 5G, possui um foco diferente das últimas evoluções, pois como o 4G já permite velocidades incríveis, o objetivo do 5G passa a ser o de levar internet para dispositivos conectados, como por exemplo, temos os automóveis, fechaduras eletrônicas, câmeras de segurança e muitas outras aplicações de *IoT* e assim viabilizando acesso de banda larga fixa com altas velocidades, sem que as operadoras precisem de fibra ou cabeamentos de cobre até o cliente.

A tecnologia oferece velocidades acima de 10 Gbps, também permite maior número de dispositivos conectados e uma menor latência. Além da rede também diferenciar aplicações por camada, permitindo priorizar aplicações críticas, ou seja, será possível fazer cirurgias de forma remotamente, como nesta figura. [11]

Figura 6 - Especificações do 5G.

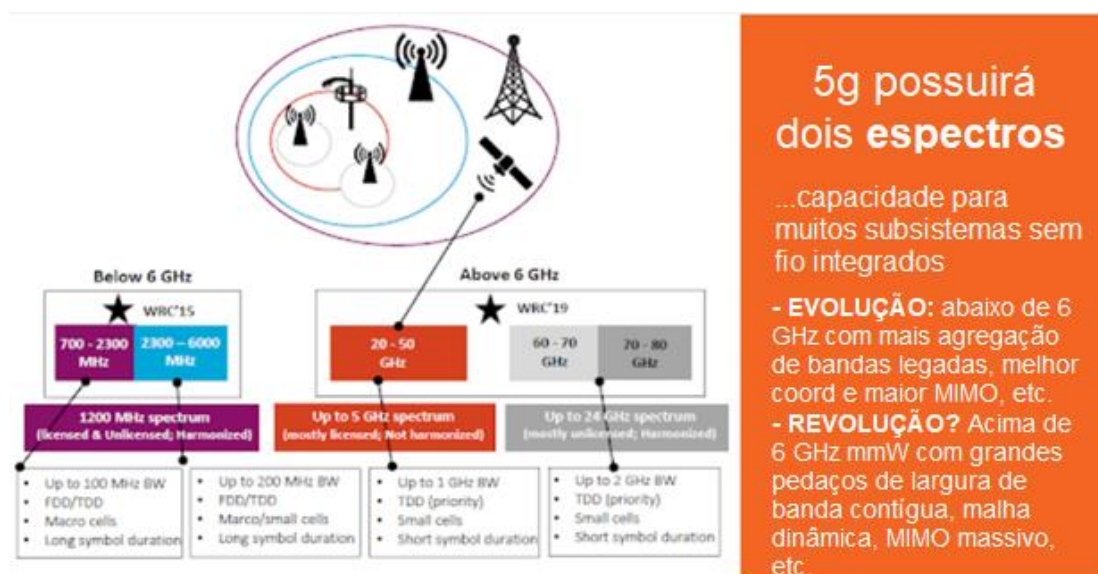


Nesta figura 6 tem-se alguns resumos do que é o 5G, exemplo a banda larga, 1000 vezes mais rápida por unidade de área, algumas bandas acima de 24GHz foram identificadas para 5G. Algumas dessas bandas têm uma alocação já existente para o serviço móvel, principalmente. O que isso significa é que os serviços móveis podem ser implantados nessas bandas. Para 3G e 4G, o espectro utilizado foi em bandas abaixo de 4GHz, sendo 1800MHz a banda mais popular. Portanto, nunca houve uma preocupação com o uso dessas bandas de alta frequência na comunicação móvel. [12]

Como essas bandas foram selecionadas para estudo pela ITU, o 5G nessas bandas não pode ser implantado até depois da WRC-19, onde os resultados desses estudos serão apresentados. No entanto, há um pequeno problema. Algumas das bandas inicialmente propostas para 5G não estão incluídas nesta lista de bandas a serem estudadas. Isso significa que existe a possibilidade de que alguns dos países proponentes possam avançar e implantar 5G nessas bandas.

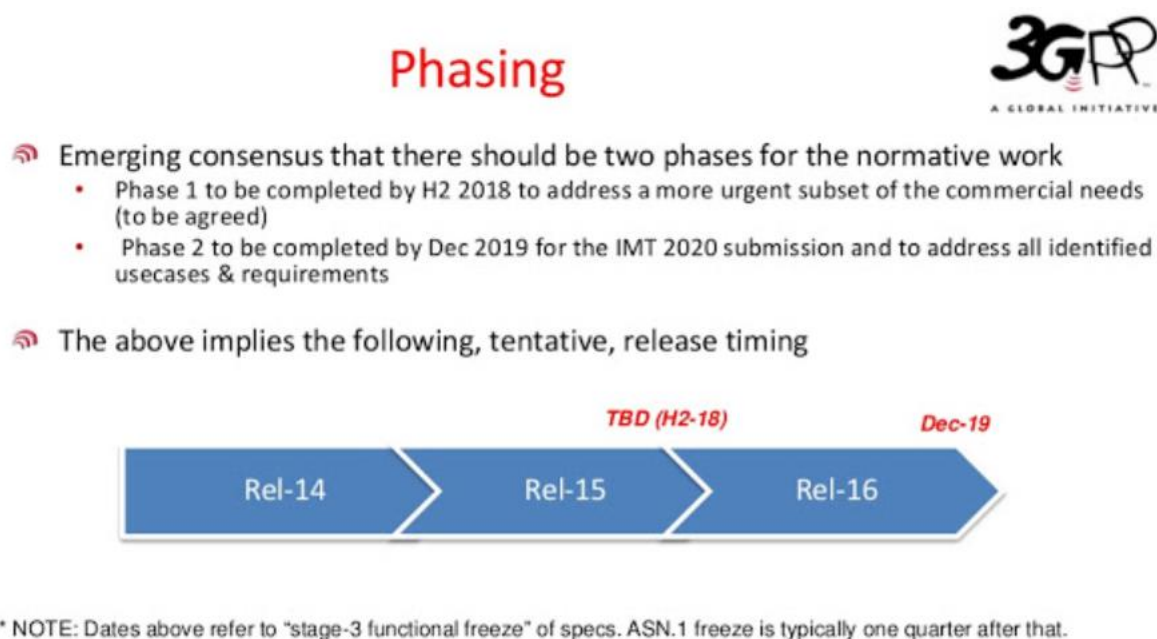
Para três bandas que ainda não possuem serviços móveis como alocação primária, será necessário um esforço adicional para ter a alocação móvel como principal. Isso pressupõe que nenhum problema seja identificado como resultado de estudos a serem realizados para viabilidade dessas bandas para 5G. [13]

Figura 7 - Espectro 5G.



Na figura 7, tem-se “Below 6GHz” e “Above 6GHz”, que traduzindo refere-se a abaixo de 6GHz e acima de 6GHz, respectivamente. Para ver os benefícios reais do 5G, o operador precisaria usar uma combinação de bandas de baixa e alta frequência, como pode ser visto na figura 7. Baixas frequências para cobertura e altas frequências para capacidade e taxas de dados mais altas.

Figura 8 - Fases 5G.



Como mostra a figura 8, o 5G virá em duas fases. A Fase 1 é a Rel-15 em H2, 2018 e a Fase 2, a Rel-16, em dezembro de 2019. A Fase 1 da 5G geralmente consiste em implantações em faixas de frequência mais baixas, pois as faixas de frequência mais alta provavelmente obterão uma aprovação após o WRC- 19. Depois que essas novas bandas forem limpas para a implantação 5G, a Fase 2 de 5G estará pronta para a implantação dessas bandas de alta frequência.

Pode ser que ocorra a desativação das redes 3G. A frequência 3G (UMTS) mais usada é 2100MHz (ou 2,1GHz). Se uma rede precisar manter alguma rede 3G funcionando, geralmente será essa frequência. Isso também permitirá que outros usuários internacionais percorram essa rede. Todas as outras frequências 3G logo começarão a migrar para 4G ou talvez até a fase 5G 1.

Com o 5G, não apenas podemos desfrutar de uma conexão à Internet mais rápida e estável. Também há muito mais possibilidades que podemos explorar e aproveitar, uma vez que o 5G se torna difundido e totalmente implantado. Imagine carros "inteligentes" autônomos, aparelhos "inteligentes" com eficiência energética, segurança doméstica "inteligente" e até roupas "inteligentes". A rede 5G ajudará a conectar essa nova onda ou dispositivos "inteligentes" de entrada. [12]

Com sua conexão ultrarrápida, estável e consistente e tempo de latência zero, o 5G também será muito benéfico em muitos campos diferentes, incluindo comunicação, transporte, negócios, serviços de medicina e saúde, serviço público, agricultura, emergências, gerenciamento de riscos e muitas outras.

Em resumo, o objetivo da 5G é tornar viável algumas aplicações, como por exemplo o IoT (*Internet of Things*), já citado bastante nesta pesquisa, também o massivo IoT (aplicações críticas, sendo estas as cirurgias de forma remota, por exemplo) e acesso banda larga *wireless* Fixo (fornecimento de banda larga sem fios, por meio de links de rádio entre a casa do usuário e a torre de celular).

Comunicação cooperativa vem ganhando grande interesse, pois permitem que dispositivos móveis com uma única antena consigam ter alguns dos benefícios de múltiplas antenas, como MIMO, proporcionando uma transmissão com reduções dos efeitos do canal, e também a transmissão será mais efetiva, além de melhorias em termos de potência.

Cada usuário sem fio será transmissor de dados, assim agirá como um agente cooperativo para outro usuário

A potência de transmissão da base para ambos os usuários será reduzida por causa da diversidade e não causa perda de taxa no sistema, pois a eficiência espectral de cada usuário melhora, devido a diversidade proporcionada pela cooperação, assim as taxas de códigos podem ser aumentadas. [13]

2.12 *Device to device (D2D)*

A necessidade de novas aplicações tais como distribuição de conteúdo e propaganda ciente de localização têm introduzido novos casos de uso nas redes celulares.

“É definida como uma comunicação direta entre dois dispositivos móveis sem passar pela estação base (BS) ou núcleo da rede” [Cao et al. 2015].

Podendo ocorrer no espectro celular ou fora do espectro celular. Conforme a rede celular de 5G é visualizada em duas camadas, sendo denominadas de níveis de macro células e dispositivos. O nível de macro célula envolve comunicações das estações base (BS) para o dispositivo como em um sistema celular convencional. O nível do dispositivo envolve comunicações D2D.

Dispositivo retransmite com estabelecimento de ligação controlada pelo operador. Comunicação D2D direta com o estabelecimento de ligação controlada pelo operador. Dispositivo com estabelecimento de ligação controlado pelo dispositivo. Comunicação direta D2D com estabelecimento de ligação controlada pelo dispositivo. Suas vantagens são a alta taxa de dados e baixos atrasos de ponta a ponta. [14]

Ou seja, a comunicação, por exemplo, celular com celular é definida como uma comunicação direta entre dois dispositivos móveis, sem ter que passar por uma rede, ou uma estação base.

Comparando com a comunicação celular normal, comunicações diretas economizam energia e melhoram a utilização dos recursos de rádio. Mudar de um caminho de infraestrutura para um caminho direto descarrega o tráfego celular, aliviando o congestionamento.

2.13 *Relays*

Representam dispositivos retransmissores com a finalidade de enviar uma informação entre dois dispositivos separados por uma grande distância, logo, é necessário ter no mínimo uma fonte e um local de destino.

Entre os tipos, podemos citar *os in-band relays, out-of-band relays, buffer-aided*. A utilização de relays em conjunto com estações-base realiza a técnica diversidade de cooperação. [14]

2.14 *Small Cells*

Como sabemos, as redes celulares utilizam Estações Base de alta potência para cobrir distâncias maiores a fim de atender a um maior número de usuários. O 5G usa frequências mais altas, como ondas milimétricas, que ficam bloqueadas devido a obstáculos e, como resultado, os usuários móveis não receberão sinais 5G por trás desses obstáculos. *Small Cells* resolvem esse problema de bloqueio.

As *Small Cells* 5G são mini estações base de baixa potência espalhadas pela região para serem servidas. Resumidamente, as *Small Cells* são pequenas antenas, que funcionam para melhorar a cobertura do sinal, ou seja, aumentando a capacidade e a cobertura.

São basicamente APs sem fio de baixa potência (Access Point) que operam em espectro licenciado. Elas são gerenciadas por operadoras de telecomunicações. Devido aos seus

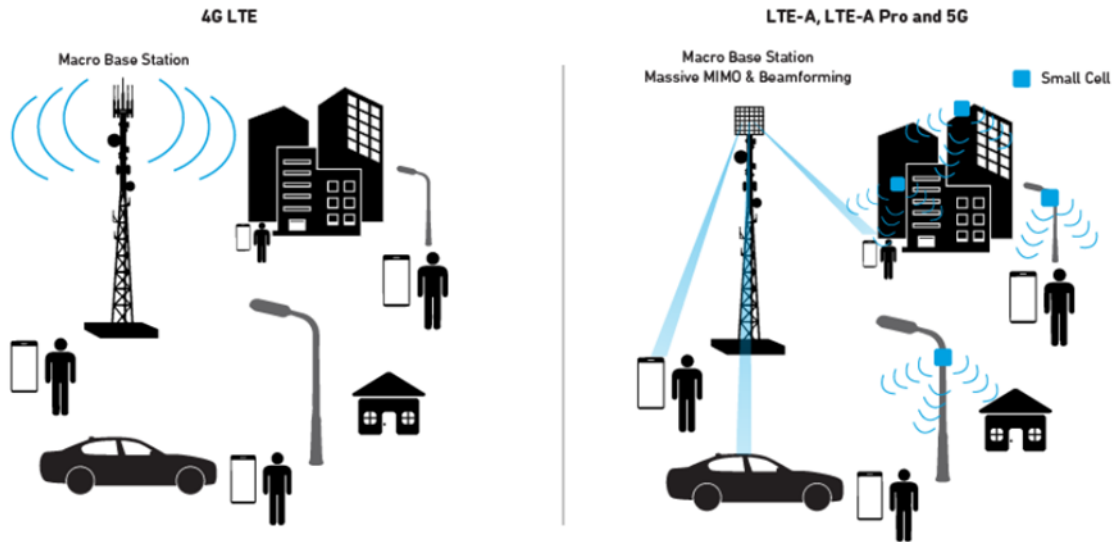
tamanhos pequenos, eles podem ser facilmente instalados em locais fechados e em locais com espaço restrito. Por isso, eles auxiliam a melhorar a cobertura celular e preencher lacunas de cobertura. [15]

As *Small Cells* estão disponíveis em toda a região para serem atendidas e, portanto, mantêm a qualidade do sinal em todos os lugares. Elas recebem o sinal 5G da estação base principal e retransmitem o mesmo para os usuários. Quando o usuário se move atrás do obstáculo, o celular muda automaticamente para a miniestações rádio base, ou seja, uma pequena célula para manter a conexão intacta. Isso ajuda os usuários 5G a aproveitar a cobertura ininterrupta da rede 5G. Na imagem abaixo das listas de vantagens dessa tecnologia, percebe-se o avanço do 4G para o 5G, ou seja, de como as *Small cells* (que na figura 9 está instalada nos postes de rua) vão aumentar a qualidade da rede, e propagação do sinal.

A figura 9 mostra a lista de vantagens desta tecnologia:

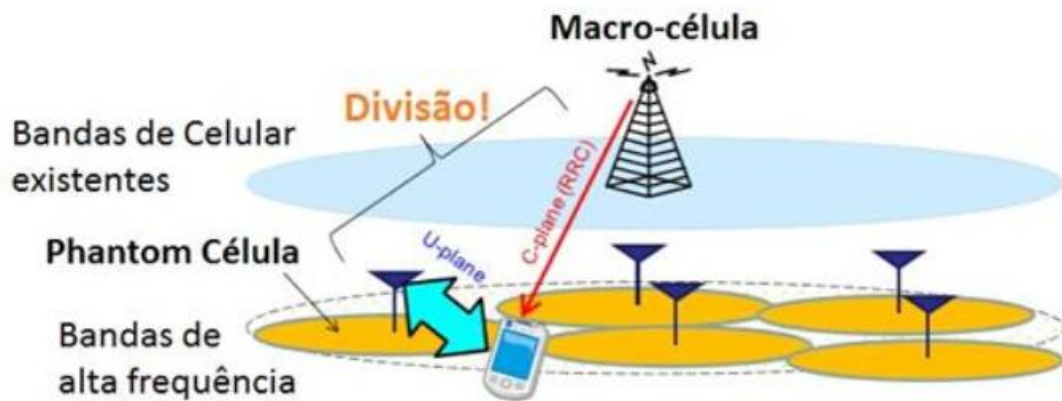
- Melhora a cobertura nas áreas onde o sinal é fraco ou não está disponível devido ao bloqueio. Isso ajuda a servir lugares internos, bem como lugares ao ar livre atrás de obstáculos com um melhor serviço.
- Fornecem suporte para um maior número de usuários na rede celular 5G.
- Como estão mais próximas dos usuários, elas experimentam serviços de dados mais rápidos devido à menor latência.
- Consomem menos energia devido à operação de baixa potência.
- São menores em tamanho e, portanto, são fáceis de instalar e manusear.
- Ele ajuda no descarregamento do tráfego de celular para atender os usuários de forma eficiente com melhor qualidade de sinal.

Figura 9 - Diferença do 4G para a rede 5G com a tecnologia Small Cells.



Falando agora do conceito *Phantom Cell*, que tem-se na figura 10, é uma das opções que virão a ser usadas nas redes 5G, onde dividirá o controle *C-Plane* dos dados do usuário (*U-Plane*) entra a *Macro cell* e a *Small cell*, sendo que esta última suporta um tráfego com alta taxa de transmissão de dados, e a Macro mantém a sinalização de controle. Na imagem abaixo observa-se a configuração de uma *Phantom Cell*. [17]

Figura 10 - Arquitetura Phantom Cell



Um forte aliado da Small cells é outra tecnologia, é o Massive MIMO, onde cobre toda a célula, podendo fornecer altas velocidades de transmissão em cenários com alta densidade de tráfego, em altas frequências, reduz os elementos de antes e também pode colocá-los mais próximos, formando uma matriz de antenas (Beamforming), assim os feixes se tornam mais estreitos. Ou seja, essa é a técnica de Massive MIMO somada com Small Cells. E a seguir será falado sobre essa outra tecnologia no mundo do 5G, chamada Massive MIMO. [15]

2.15 *Massive MIMO*

Essa tecnologia MIMO oferece mais velocidade às redes sem fio. MIMO é a sigla em inglês para *Multiple Input Multiple Output* que, em uma tradução literal, significa “Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas”. Trata-se de um sistema que visa alcançar maiores taxas de transmissão em redes sem fios.

A tecnologia utiliza várias antenas para transmitir o sinal e os dados em uma rede. Assim, quanto mais antenas, mais rápida e eficiente será a transmissão e recepção dos dados aos diversos aparelhos conectados. Por conta dessa funcionalidade, tem-se o nome “múltiplas entradas e saídas”. Além de suas melhorias na velocidade de transmissão e recepção, essa tecnologia gasta menos energia e tem uma segurança mais aprimorada.

O sistema MIMO possui três funções distintas. A STTD, a SM e a transmissão colaborativa. STTD é a sigla para *Space Time Transmit Diversity*. Neste modo, todas as antenas transmitem exatamente o mesmo sinal. Isso serve para aumentar a potência da rede. Porém, a velocidade continua a mesma.

Já na função SM (*Spatial Multiplexing*), cada antena transmite dados diferentes. Isso aumenta a taxa de transferência da rede, ou seja, a sua velocidade. Porém, o alcance continua o mesmo. Esta técnica também é conhecida como OFDM-MIMO e é usada em roteadores no padrão 802.11n e as redes celulares mais atuais.

Por fim, na transmissão colaborativa, mais de um roteador pode ser combinado para ter um dos outros dois sistemas, unindo o melhor dos dois mundos. Este modo, porém, é o mais incomum.

Um sistema MIMO-OFDM 2x2 indica que há duas antenas transmissoras e duas antenas receptoras atuando no modo OFDM (ou SM), ou seja, cada uma transmite dados diferentes, aumentando a velocidade. Assim, ele poderia ser descrito como 2x2:2. Em um sistema 3x3:3, haverá três antenas de transmissão, três de recepção em três fluxos espaciais, triplicando a velocidade.

Uma outra forma promissora de melhorar a eficiência espectral é agora comumente referida como MIMO massivo ou MIMO em grande escala. O conceito chave é equipar as estações base com arranjos de muitas antenas, que são usadas para servir vários terminais simultaneamente, no mesmo recurso de tempo-frequência. A palavra “massiva” refere-se ao número de antenas e não ao tamanho físico. Esta tecnologia baseia-se na invocação de efeitos estatísticos de grande escala que (em condições ideais) eliminam em pequena escala, a interferência e ruído do sistema de comunicação, bem como concentra a energia transmitida apenas no alvo pretendido. Isso permite que muitos mais Uts ser programado do que é possível hoje, aumentando imensamente a eficiência espectral geral. Curiosamente, a suposição de centenas de antenas pode não ser tão longe buscado, como uma estação base 4G / LTE-A no tamanho máximo já tem 240 elementos de antena. Massive MIMO atraiu muita atenção da comunidade de pesquisa e de seu potencial, está sendo tratado por muitos. Crucialmente, muitas abordagens para fazer o básico premissas mais práticas foram descobertas. Avanços foram feitos no problema da estimativa CSI de centenas de canais (cada antena BS para cada usuário antena). O problema do custo computacional para os esquemas de pré-codificação está sendo aspectos tratados e de eficiência energética estão sendo analisados. Mesmo deficiências de hardware, que são certamente importantes, pois o custo por transceptor precisa ser reduzido ao usar centenas deles, estão sendo investigados.

Existe uma maneira simples para quantificar os ganhos de eficiência espectral que podemos esperar do Massive MIMO. Em teoria, passar de 4 para 64 antenas é apenas uma questão de alterar o valor de um parâmetro. No entanto, muitos problemas práticos precisam ser resolvidos para trazer a tecnologia à realidade e as soluções só podem ser desenvolvidas se pudermos nos convencer de que os ganhos são grandes o suficiente. Uma fórmula simples para a eficiência espectral de downlink é:

$$K \cdot \left(1 - \frac{K}{\tau_c}\right) \cdot \log_2 \left(1 + \frac{c_{CSI} \cdot M \cdot \frac{SNR}{K}}{SNR + 1}\right)$$

Onde **M** é o número de antenas da estação base, **K** é o número de usuários espacialmente multiplexados, $c_{CSI} \in [0,1]$ é a qualidade das estimativas de canal e τ_c é o número de canais usados por bloco de coerência de canal. Para simplificar, assume a mesma perda de caminho para todos os usuários. A variável SNR é a relação sinal-ruído nominal (SNR) de um usuário, obtida quando $M = K = 1$. Eq. acima é um limite inferior rigoroso na capacidade de soma, obtido sob as suposições de pré-codificação de razão máxima, canais de

desvanecimento Rayleigh e alocação de potência igual. Com melhores esquemas de processamento, pode-se alcançar um desempenho maior.

Para obter uma fórmula ainda mais simples, aproximamos a equação acima em:

$$K \log_2 \left(1 + \frac{c_{\text{CSI}} M}{K} \right)$$

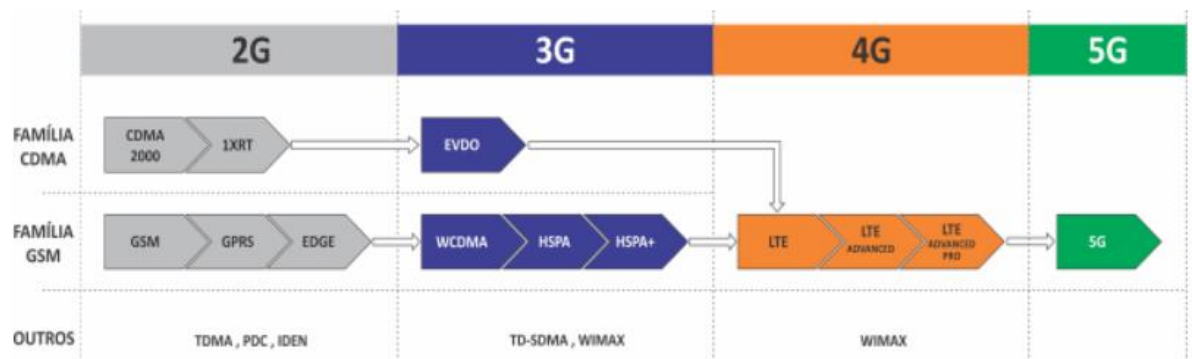
Assumindo uma grande coerência de canal e ruído insignificante. Se aumentarmos **M** enquanto **K** for constante, observaremos uma melhora logarítmica na eficiência espectral.

A vantagem da MIMO é em uma rede *wireless* tradicional é que o roteador pode dar atenção apenas a um dispositivo por vez. Então, imagine que você tenha um *notebook*, um *tablet* e um *smartphone* ligados a uma mesma rede Wi-Fi. O notebook está em uma partida online, o tablet está transmitindo um filme pelo Netflix e o *smartphone* fazendo streaming pelo YouTube. O roteador primeiro transmite e recebe alguns dados da partida online, depois para de dar atenção à partida e transmite alguns pacotes de dados para o Netflix e depois para o YouTube. Embora o usuário não perceba essas paradas, é assim que os roteadores atuam. Por isso, para se ter um melhor desempenho em partidas *onlines*, é recomendável desligar tudo aquilo que possa consumir banda, tais como streaming de vídeos ou de músicas. E é por isso que quando há muitos dispositivos ligados na rede ao mesmo tempo os vídeos travam, por exemplo.

Em um sistema MIMO de três antenas, cada uma das antenas transmite um tipo diferente de dados. Assim, voltando para a situação apresentada, uma antena ficaria dedicada para o notebook, a segunda para o smartphone e a terceira para o tablet, não havendo diminuição de velocidade.

A tecnologia MIMO ainda pode ser dividida em SU-MIMO e MU-MIMO, onde SU significa *Single User* (usuário único) e MU significa *Multiple User* (usuários múltiplos). A tecnologia MU-MIMO é a que pode transmitir diferentes tipos de dados simultaneamente. A meio a tudo isso, na figura 11, dá para se notar bem as comparações das gerações do 2G ao 5G, percebendo a drástica evolução da tecnologia. [15]

Figura 11 – Evolução do 2G até o 5G.



3 5G no Mundo

Segundo a TELECO, no final de 2019, a GSA tinha identificado 348 operadoras em 119 países, que haviam lançado ou feito trials de 5G. Nesta data, 61 operadoras tinham 5G serviços (3GPP) em operação em 34 países, sendo 49 com operações móveis e 34 com FWA.[2]

Segundo o GSA, em janeiro de 2020:

- 78 vendors haviam anunciado que teriam disponíveis ou iriam disponibilizar dispositivos 5G
- Havia sido anunciados oficialmente o lançamento de 208 modelos de dispositivos 5G, sendo 62 smartphones (35 disponíveis comercialmente), 13 pontos de acesso, 69 CPEs, 35 módulos, 14 hot spots, 3 robot, 3 TVs, 2 adaptadores, 4 roteadores para IoT, 2 drones, 5 notebook, 1 switch, 2 terminal USB entre outros.
- 66,8% dos dispositivos anunciados suportam bandas em frequências abaixo de 6 GHz e 33,6% em ondas milimétricas.
- Existiam 4 chipsets 5G de 4 vendors: Huawei, Mediatek, Qualcomm e Samsung.

3.1 Coreia

SK Telecom (SKT), KT e LG Uplus colocaram em operação simultaneamente suas redes 5G na Coreia em 1/12/18. Planejavam ampliar a utilização para consumidores com cobertura nacional em março de 2019, à medida que os aparelhos 5G se tornarem disponíveis.

As redes 5G em operação na Coreia estão apresentando um grande crescimento do consumo de dados.

A Coreia atingiu a marca de 3 milhões de celulares 5G em 9 de setembro e pretende cobrir 93% da população com esta tecnologia até o final do ano. Cinco meses após o lançamento do serviço, o país já contava com 90 mil ERBs 5G

A SK Telecom (SKT), atingiu o marco de um milhão de assinantes 5G em 21 de agosto, menos de 5 meses do lançamento do serviço. Este marco foi atingido para 4G em oito meses. A média mensal de uso de dados é de 33,7GB para 5G, comparado com 20,4 GB para 4G.

Novos serviços com funções AR e VR já representam 20% do consumo de dados em 5G, em comparação com apenas 5% para 4G.

Medições realizadas pela Opensignal na Coreia mostram que a velocidade de download de smartphones 5G é 48% do que aquela de smartphones 4G topo de linha (4.5G) e 134% maior que a dos demais smartphones 4G.

A Opensignal não encontrou, no entanto, diferenças significativas nas velocidades de upload (cerca de 14 Mbps) e na latência (cerca de 37 ms). As redes 5G da Coreia foram implantadas utilizando o core 4G (Modo NSA). [2]

3.2 Estados Unidos

Em novembro de 2019 a AT&T anunciou que irá lançar seu serviço 5G em 850 MHz complementando, segundo a operadora, a sua oferta em ondas milimétricas. Curiosamente, no entanto, o primeiro smartphone a ser disponibilizado (Galaxy Note10 + 5G da Samsung) é compatível apenas com a faixa de 850 Mhz e não com a de ondas milimétricas.

A Verizon lançou seu serviço 5G em 1/10/2018 em várias cidades dos EUA. O “Go 5G Home” é um serviço BL fixa para o cliente residencial com velocidades entre 300 Mbps e 1 Gbps. A rede 5G da Verizon opera na banda de 28 GHz e ainda não é compatível com o 3GPP. É baseada na especificação 5G da Verizon e a será atualizada para o padrão 5G do 3GPP no futuro.

Em dezembro de 2018, a AT&T colocou em operação a sua rede 5G em 12 cidades dos Estados Unidos. Ela não está em operação comercial pois ainda não existem smartphones 5G sendo comercializados. Ela está sendo utilizada por pessoas selecionadas utilizando terminais de dados.

Os lançamentos de redes comerciais de 5G utilizando ondas milimétricas se multiplicam nos EUA. A Verizon tem redes 5G em 30 cidades, a AT&T em 20 e a T-Mobile em seis. [2]

5G no mundo, envolve os EUA de forma geral, pois os americanos, não querem que os outros países aceitem equipamentos e serviços da Huawei (empresa chinesa), devido a disputa comercial entre os dois países, onde é citado nos textos abaixo.

3.3 China

As três principais operadoras móveis do país na (China Mobile, China Telecom e China Unicom) lançaram oficialmente serviços 5G em novembro de 2019, seis meses após o governo emitir as licenças. As três operadoras cobrem parcialmente 50 cidades, implantaram cerca de 86.000 estações rádio base 5G e devem chegar a mais de 130.000 até o fim do ano.[2]

A principal empresa no mundo para equipamentos de redes e telecomunicações é sediada na província de Guangdong, na China, empresa que entra em choque com os EUA, em busca da disputa do 5G no mundo. Um exemplo dessa briga, é na disputa do poder pela Europa. Segue a figura 12 sobre a disputa comercial (5G) entre China e EUA.

Figura 12 - Disputa tecno comercial entre China e EUA.



3.4 Europa

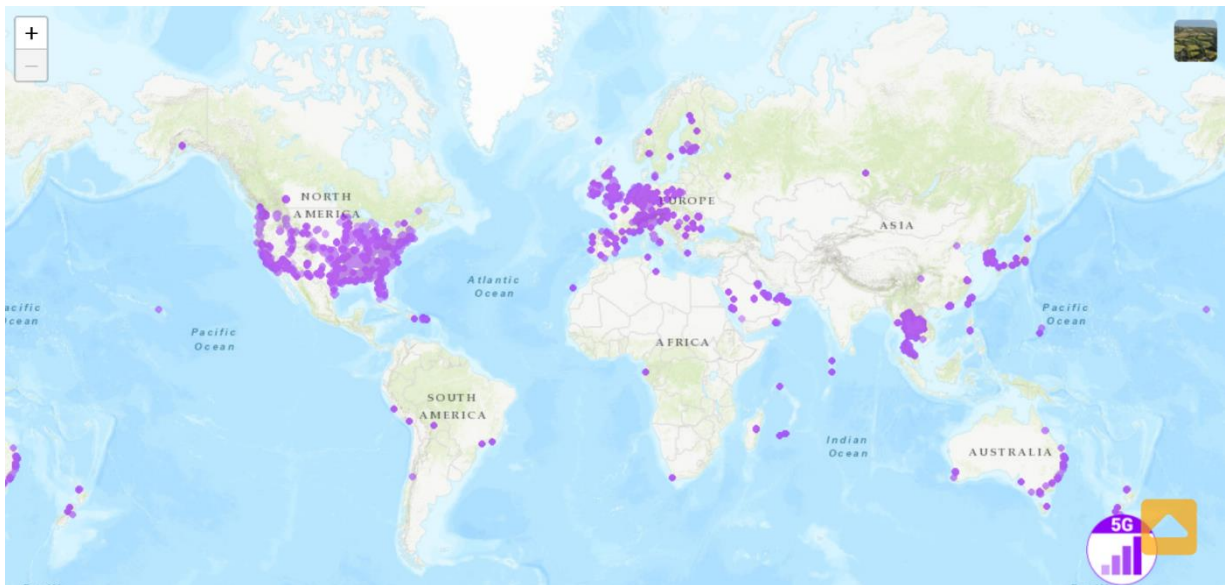
Em junho de 2019, a GSA identificou 106 operadores, em 41 países da Europa que estão investindo ativamente em 5G, sendo que, 8 operadoras em 6 países tinham em operação comercial redes 5G: EE (UK), Elisa na Estônia e Finlândia; Sunrise e Swisscom na Suíça, TIM e Vodafone na Itália e Vodafone na Espanha.

De acordo com uma matéria publicada pelo Computer World, com informações da Reuters, neste mesmo ano, os EUA pediram a Europa para evitar de usar tecnologias 5G da Huawei (empresa chinesa), no caso, o pedido faz parte de um esforço movimento pelo governo, para que impeça os aliados usarem equipamentos desta companhia, que é acusada de espionagem. E os EUA alegaram que não tem por que a Europa optar por a aquisição dos equipamentos da Huawei, sendo que empresas com a Ericsson, Samsung e Nokia, entregariam o mesmo nível de qualidade.

De acordo com a Euronews, onde publicaram uma matéria em julho de 2020, a União Europeia disse que não se opõe a nenhuma empresa, mas também quer evitar fornecedores de risco, pois como já dito, sabe-se a pressão que tem dos EUA para não ter ligações com a Huawei, e está se defende, falando que "Se verificarmos o que os consumidores americanos pagam para ter a mesma quantidade de informação - comparando com os cidadãos europeus - equivale a três vezes mais. Isso deve-se à ausência de concorrência nos EUA.", defende o representante da Huawei para a União europeia. Mas a comissão europeia insiste que deve identificar os fornecedores de alto risco e que os grupos Nokia e Ericsson podem fornecer tudo que a União Europeia precisa, para que seja desenvolvida as infraestruturas 5G. Mas o Reino Unido, resolveu banir da rede 5G, qualquer equipamento da Huawei, por causa do risco de segurança, decisão que agradou e muito os Estados Unidos da América. E assim com o crescimento cada vez mais forte da tecnologia, segue a imagem abaixo sobre a disputa entre EUA e China, guerra tecno comercial.

De acordo com dados publicados pelo Observatório Europeu, em janeiro de 2020, o 5G já é comercializado em vários países da Europa, como Alemanha, Finlândia, Irlanda, Áustria, Itália, Espanha, Estônia, Romênia e Reino Unido. Possuindo ao todo, 15 operadoras que já disponibilizam redes 5G para serem utilizadas. Crescimento forte nessa parte, tudo para todos tenham acesso à rede, permitindo conexões de dados ilimitados em qualquer lado, altura e formato. [2]

Figura 13 - Cobertura 5G no MUNDO.



Após essas explicações sobre EUA x CHINA, uma análise na figura 13, onde se vê onde o 5G está aparecendo ao redor do mundo, já se pode ver um grande avanço (em termos de já ser consumido o 5G) nos EUA.

4 5G no Brasil

Segundo um vídeo feito por João Piccioni – Editor da EMPIRICUS, sobre o 5G, as "Caixas misteriosas" já estão escondidas nas ruas, nos bairros e etc., essas caixas estão instaladas dentro do mobiliário urbano, em postes espalhados na cidade, como nos orelhões, pontos de ônibus, cada uma com um formato ou uma cor, mas o que importa mesmo é o que está dentro dessas caixas, pois é onde está a mais importante tecnologia criada em décadas, a tecnologia 5G, não há comparação com as outras gerações, uma revolução diferente de tudo que já vimos, o mercado 5G pode trazer 37 bilhões para o Brasil, fora os empregos que serão criados, alterar o status financeiro de famílias por gerações, porque isso é a revolução do século.

O 5G é muito maior que um upgrade, em poucos anos nossas vidas serão totalmente transformadas, carros, casas, trânsito, supermercados, restaurantes etc.

Já estão sendo instaladas essas caixas, a rede *wireless* que existe hoje não suporta o 5G, por isso não aconteceu essa revolução antes, as torres não são adaptadas para suportar a quantidade de tráfego que o 5G vai demandar, não conseguem conectar o que é preciso na

velocidade necessária, as torres foram construídas para um mundo que não existe mais, pois a rede wireless saiu de um início de 10Gigabits para 28 bilhões de Gigabits no mundo, um aumento gigantesco, e durante esse tempo a sociedade passou a depender 100% dos dados móveis do celular.

No mundo todo, todas as indústrias, e tudo depende da rede wireless. As antenas antigas geram interferências, pois mandam sinal para todos os lugares e não dá pra ter tanta instabilidade se você precisa controlar o trânsito com carros autônomos, ou médicos forem fazer uma cirurgia a distância, só há, portanto, uma forma do 5G funcionar, com essas caixas ditas.

As torres de celulares hoje têm uma capacidade de 150Mbps, o 5G será 133 vezes mais rápido, as caixas de 5G vão possuir uma capacidade de 20000MB/s.

E as caixas custam uma fração do preço que as torres custam, ou seja, são muito mais baratas, e toda vez que for preciso aumentar a rede, é preciso só instalar uma caixa, seja em postes, nos faróis de trânsito, na cerca, no campo. Até 2021 mais de 31 bilhões de dispositivos estarão conectados na rede 5G. IBM, DELL e Samsung já estão investindo fortemente em cima disso (China, EUA, Alemanha). [18]

4.1 Espectro

Com o 5G chegando no Brasil, exemplo a Claro 5G DSS (tecnologia de transição entre 4G e 5G) a Claro não possui um plano específico para esta tecnologia, oferecendo-o a todos que comprarem o smartphone top de linha Motorola Edge, único aparelho disponível no Brasil compatível com esta tecnologia. Qualquer plano serve para navegar com o novo serviço, contanto que o celular usado seja compatível e da localização do dispositivo esteja na área de cobertura da rede.

O 5G DSS é o “Compartilhamento Dinâmico de Espectro”, passa a ser oferecido em parceria com a empresa sueca Ericsson. O objetivo da Claro é entregar uma internet, segundo, até 12 vezes mais rápida que o 4G tradicional, porém ainda não irá operar nas faixas que serão utilizadas pelo 5G, que irá depender do leilão da Anatel (Agência Nacional das Telecomunicações), atualmente previsto para este ano de 2021, sendo esta tecnologia, como já citado acima, apenas uma transição, para a população ir se “adaptando” quando chegar a tecnologia completa do 5G. [19]

"Quando vier o novo espectro, seu smartphone pode chegar à velocidade de 1 Gbps", afirmou Márcio Carvalho, diretor de marketing da Claro. Em teste apresentado pela Claro no app *Speedtest*, o 5G DSS chegou a 414 Mbps no *download*.

Em São Paulo, o serviço pode ser acessado da avenida Paulista e Jardins, sendo posteriormente expandido para bairros da zona sul e oeste: Campo Belo, Vila Madalena, Pinheiros, Itaim, Moema, Brooklin, Vila Olímpia, Cerqueira César, Paraíso, Ibirapuera e Santo Amaro. No Rio de Janeiro, o 5G estará disponível em Ipanema, no Leblon e na Lagoa. Depois, a cobertura será expandida a toda orla, do Leme à Barra da Tijuca. Jardim Oceânico, Joá, São Conrado e Copacabana serão incluídos na rede. [11]

Alguns dos critérios usados pela empresa para os primeiros locais a receber o 5G DSS são:

- Demanda de tráfego (isto é, cidades que mais precisam de cobertura de internet)
- Infraestrutura modernizada para o 4,5 G
- Penetração de smartphones de última geração
- Densidade populacional

4.2 5G, mas não "definitivo"

Segundo uma redação da UOL sobre o 5G, a novidade da Claro é o primeiro passo do 5G comercial no Brasil, ou seja, é uma tecnologia que permite maiores velocidades ao usuário e algumas das funcionalidades prometidas pela quinta geração móvel, mas não se pode considerar este serviço ainda a versão "definitiva" do 5G.

1. Em novembro de 2018, a Anatel ampliou o limite de faixas de frequência que uma operadora poderia usar em um mesmo município;
2. Em março de 2019, a America Móvil (dona da Claro) anunciou a compra da operadora Nextel.
3. Em junho deste ano, equipamentos 5G foram permitidos no Brasil após uma atualização de exigências técnicas da Superintendência de Outorgas e Recursos, braço da Anatel.

As faixas que a Claro obteve da Nextel passaram a ser usadas para "bombar" seu espectro de frequências com o chamando de 5G DSS, que pode ser considerado um meio termo entre o 4G e o 5G. Essa tecnologia é capaz de alternar as frequências de forma dinâmica para obter mais velocidade de conexão.

A solução encontrada pela Claro também foi adotada por operadoras estrangeiras. Foi a tecnologia DSS que possibilitou que a americana AT&T expandisse, ao final de junho, sua cobertura de 5G a uma área onde vivem 160 milhões de pessoas.

A questão é que apesar do mérito da operadora, 5G não é somente aumento de velocidade, segundo Adão Boava, professor e pesquisador de telecomunicações da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). O celular terá internet mais rápida, mas essa rede DSS não vai ajudar em outras situações previstas para o 5G final. "O verdadeiro 5G vem para resolver os problemas de falta de recursos das redes atuais para as aplicações de IoT [Internet das Coisas], Indústria 4.0, Big Data e outras". [19]

O 5G utilizará espectro de bandas baixas, médias e altas, relata José Otero, (vice-presidente da 5G Américas para América Latina e Caribe). "O DSS pode ser uma forma de acelerar o acesso ao espectro de bandas baixas e médias que já estão em concessão, mas não elimina a necessidade de que se outorgue mais espectro para potencializar o 5G".

Outra questão técnica do 5G ausente no DSS é a baixa latência, ou seja, o tempo de reação entre um pacote de dados ser enviado para a rede e voltar ao aparelho, sendo mais um

indicador de qualidade de conexão do que de velocidade. Ela é necessária para que objetos conectados possam ser controlados remotamente quase sem atraso, como carros autônomos.

Enquanto o leilão não vem, a Claro poderá alternar o uso da mesma porção de espectro e permitir conectividade 4G e 5G, quando esta última finalmente funcionar no país, e de qualquer forma, o 5G DSS deverá coexistir com as redes exclusivas de 5G, seja no Brasil pós-leilão ou no resto do mundo. [11]

4.3 Terceiro na América do Sul

O anúncio da Claro faz do Brasil o terceiro país da América do Sul a ter uma rede 5G comercial disponível. Em 2019, o Uruguai, por meio da Anatel e com tecnologia da Nokia, foi o primeiro país a disponibilizar lançar o 5G comercialmente no continente, após isso foi o Suriname em dezembro.

Onde serviços do mesmo tipo são oferecidos: Trinidad e Tobago, Canadá e Estados Unidos (incluindo Ilhas Virgens Americanas e Porto Rico) são outros países da América do Norte, Central e Caribe. [11]

5 Cobertura

As comunicações móveis seguem o princípio geral da telefonia: conectar dois usuários remotos através do equipamento de rede de uma operadora responsável pelo gerenciamento do serviço. Mas, diferentemente dos telefones fixos, na rede móvel, não são fios de cobre ou fibra ótica, mas transmissões de rádio que fornecem o link final. O telefone móvel de um usuário se comunica pelo ar com uma antena da estação base, que por sua vez se liga à central de trocas do operador - um computador. Isso encaminha a comunicação para a parte correspondente na rede fixa ou através de outras estações base.

Para se comunicar, um usuário móvel deve estar dentro do alcance das estações base. Isso tem um alcance limitado e cobre apenas uma pequena área ao seu redor chamada “célula” (daí o nome alternativo de “redes celulares” frequentemente usado para redes móveis). Para cobrir o território máximo e garantir que os usuários possam sempre ligar, os operadores implantam milhares de células, cada uma equipada com antenas, garantindo que suas células se sobreponham e, portanto, nunca percam a localização atual dos usuários. [19]

5.1 Células urbanas, Células Rurais

O tamanho da célula depende de muitos fatores, como o tipo de estações base usadas, o terreno (planícies, montanhas, vales etc.), o local da instalação (áreas rurais ou urbanas) e a densidade populacional. O tamanho da célula também é limitado pelo alcance do telefone celular, que deve ser capaz de criar o link de retorno. E, o mais importante, as estações base têm uma capacidade de transmissão limitada e podem lidar apenas com um determinado número de chamadas simultâneas. Essa é a razão pela qual, nas áreas urbanas, onde a densidade populacional é alta e há um número significativo de comunicações, as células tendem a ser numerosas e pequenas - centenas ou mesmo dezenas de metros de distância. Nas áreas rurais, onde a densidade populacional é muito menor, o tamanho da célula é muito maior, às vezes até vários quilômetros, mas raramente ultrapassando mais de dez quilômetros.

É importante enfatizar que a redução da potência do sinal emitido pelas estações base, por sua vez, reduz a cobertura das células. Melhorar a capacidade da rede de transportar chamadas de voz ou tráfego de dados envolve necessariamente o aumento do número de estações base. Na figura 14, pode-se observar a diferença entre a Célula Urbana em relação a Célula Rural, mostrando o quão mais denso é o tráfego na área urbana, por ter muitos prédios, empresas, casas e etc. Já na parte rural, o tráfego circula de forma “melhor”, por ser um espaço aberto e sem tantos bloqueios de sinal não contendo também tantas antenas como na cidade.

Figura 14 - Célula Urbana x Célula Rural.



5.2 Sinais de televisão via 5G

Com o 5G sendo implementado no Brasil, isso promove a possibilidade de criar interferências para outras redes de comunicação em atividade no país, um exemplo é a TV aberta via satélite. Emissoras e operadoras entraram em um acordo para agilizar a chegada da quinta geração no Brasil, assim para garantir um bom funcionamento, sem interferências externas. A Anatel é responsável por comandar os testes sobre o sinal de redes 5G, que chegarão ao Brasil na frequência de 3,5GHz, além de contar com a capacidade de 200MHz, as emissoras da TV por satélite utilizam banda C (trabalha em 3,8GHz e 4,3GHz) assim podendo sofrer interferências caso não existisse um acordo entre as duas partes.

Portanto a decisão divulgada foi que a Abratel (Associação Brasileira de Rádio e Televisão) junto a Abert (Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão) e

SindiTelebrasil (Sindicato Nacional das Empresas de Telefonia) que a TV via satélite vai ser mantida em banda C, pois assim evita interferências e as operadoras não poderão usar 100MHz dentro da faixa de 3,7GHz e 3,8GHz, ou seja, aumentando a faixa de afastamento em frequência do sinal interferente, para ter a melhora da imunidade da recepção, poderia ser então, essa faixa de guarda, de 20MHz a 40MHz.

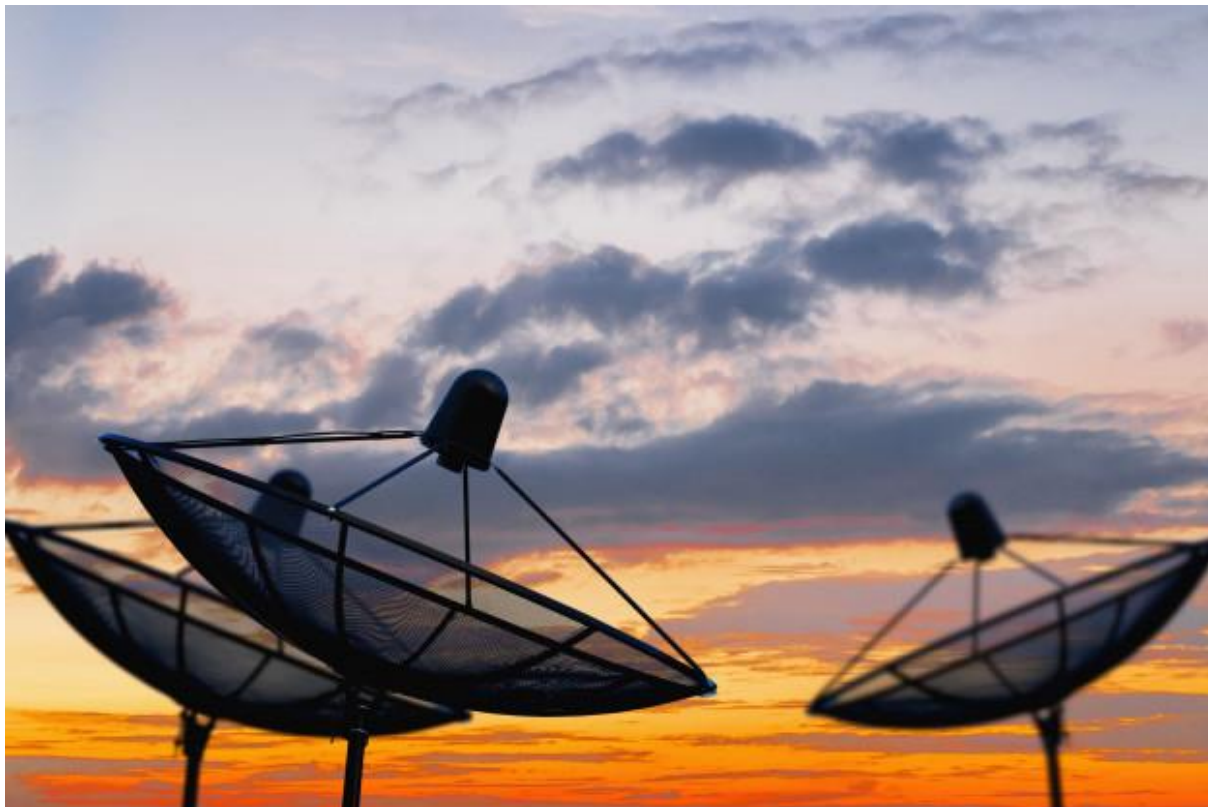
Então, mesmo com essa faixa de guarda, possui a possibilidade de que as antenas parabólicas precisem de modelos novos de filtros “LNBF” (equipamentos das antenas parabólicas que converte frequências que foram captadas em sinais de TV) que ficam dentro das casas.

De 10 LNBF testados, apenas 3 passaram para a fase de teste em campo, e desses, apenas 1 foi capaz de mitigar a saturação que o serviço move em 3,5 GHz causa nos canais de TV, situados na parte baixa da banda C. Por isso foi dito acima que a faixa guarda poderia ser de 20MHz a 40MHz, pois aumenta a faixa de guarda, melhorando a imunidade da recepção.

As ressalvas disso tudo são que podem existir sistemas de recepção naturalmente degradadas, exemplo: antenas com ferrugem, assim a recepção do sinal dependerá da adequação dos elementos do sistema (antena, cabo, receptor, decodificador, entre outros). Outra ressalva é que não foi apresentado nenhum dispositivo LNBF multiponto dentro das condições pré-definidas para teste, além de também os dispositivos LNBF devem atender os requisitos mínimos e passar por alguns testes para ser avaliados. O que também se pode falar é que os receptores analógicos e que são muito antigos, estes, poderão apresentar grandes dificuldades para fazer a sintonia dos canais, assim seria indicado a utilizar decodificadores mais atuais.

Portanto chega-se à conclusão que é muito importante esses estudos que estão sendo realizados para essa interferência dos sistemas 5G em sinais de televisão, pois de acordo com o que foi visto acima, não é tão simples assim esse acordo para o sinal 5G em sinais de TV, pois agora envolve uma quinta geração, onde a velocidade, capacidade é muito maior do que já teve, deixando para trás as outras gerações e colocando o nível de tecnologia nossa em um patamar muito superior. Na figura 15, pode-se observar Antenas Parabólicas, utilizadas em sinais de TV. [20]

Figura 15 – Antenas Parabólicas



5.3 Concessão do 5G no Brasil

No Brasil, o leilão do 5G, está previsto que ocorra entre abril e maio de 2021, segundo o Ministro das Comunicações, onde vai ser determinado as empresas que irão operar a tecnologia em cada espectro, e assim sem intrometer em outros serviços de telecomunicações. Pode-se dizer que duas operadoras largaram na frente em relação ao 5G no Brasil, que são a Vivo e a Claro, na rede que será utilizada pela Claro, foi criada tendo a parceria com a Ericsson (como já dito na briga entre EUA x China, é a Ericsson a empresa que os americanos querem que a Europa utilize para a implantação do 5G), já a rede da Vivo, possui participações da Ericsson, mas também da Huawei (empresa chinesa), que esta é a empresa envolvida nas polêmicas Europa e EUA. A Huawei tem sim interesse no leilão do 5G no Brasil, mas pode ser barrada, mas depende da união política entre os Estados Unidos e o Brasil.

Enquanto espera-se o leilão, a equipe do ministério das comunicações, foca em quem poderá mover mais benefícios ao Brasil na tecnologia 5G, e que segundo o ministro Faio Fária fez uma declaração, que a decisão sobre qual empresa irá colaborar e contribuir com o Brasil

nessa implementação da rede, caberá ao presidente Jair Bolsonaro, mas já acredita-se que não será a Huawei, pois o embaixador dos EUA no Brasil já declarou que os americanos não irão financiar a instalação da rede caso a empresa escolhida para implementação seja a Huawei, ou seja, entrando em mais um capítulo da briga política (guerra fria) entre a China e os Estados Unidos da América. [24]

Sobre o lançamento da primeira experiência 5G no Brasil, isso está acontecendo em 2020, mas com o serviço ainda limitado, ou seja, Vivo e Claro ativaram o 5G, mas como dito, com esse acesso limitado pois o Brasil possui um aparelho de celular (Motorola Edge) que aguenta essa tecnologia da quinta geração; fora isso, o sinal só está sendo ativado em alguns locais de oito capitais do país (São Paulo, Brasília, Belo Horizonte, Salvador, Rio de Janeiro, Goiânia, Curitiba e Porto Alegre). Ou seja, o 5G está pegando “emprestado” a parte da frequência utilizada pelo 4G para funcionar, e neste primeiro momento, as duas tecnologias (4G e 5G) irão dividir a mesma frequência, pois o 5G está sendo utilizado nesse primeiro “teste” com mesmas frequências e infraestrutura do 4G, tudo isso para os usuários já terem uma conexão mais veloz da quarta geração, mas será intensificado após o leilão de frequências em 2021 da Anatel.

Portanto, após o leilão, o serviço do 5G irá ganhar sua própria frequência para poder trafegar, também nesse novo ciclo, o 5G terá uma baixa latência, ou seja, o tempo de resposta para transferência de um pacote será muito menor; assim sendo a velocidade muito maior e as máquinas e serviços ficando cada vez mais conectados e automatizados.

Em relação as bandas que deverão ser leiloadas, este ano no Brasil foi o 5G DDS, com a adaptação que utiliza a infraestrutura e frequências do 4G, ainda não vai ser uma experiência completa da quinta geração, apenas será obtido uma velocidade maior. Para se ter uma noção, no 4G as faixas e frequências utilizadas variam de 1800MHz a 2600MHz, já o 5G, irão variar de 3.5GHz a 26GHz, sendo uma banda muito maior do que a geração anterior.

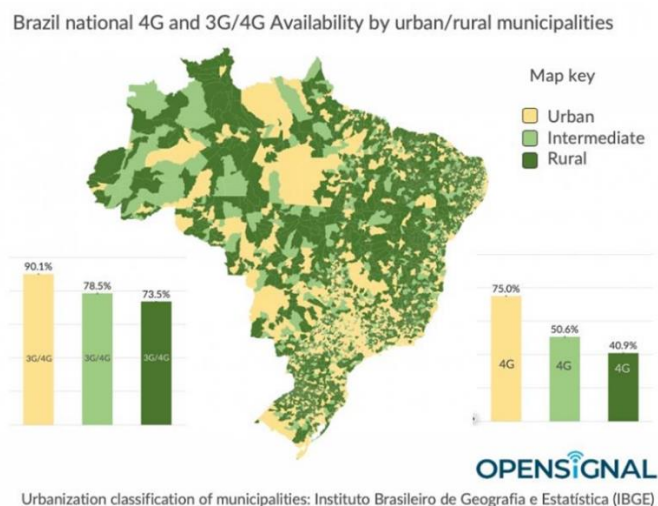
Figura 16 – O futuro e já presente 5G



5.4 Brasil

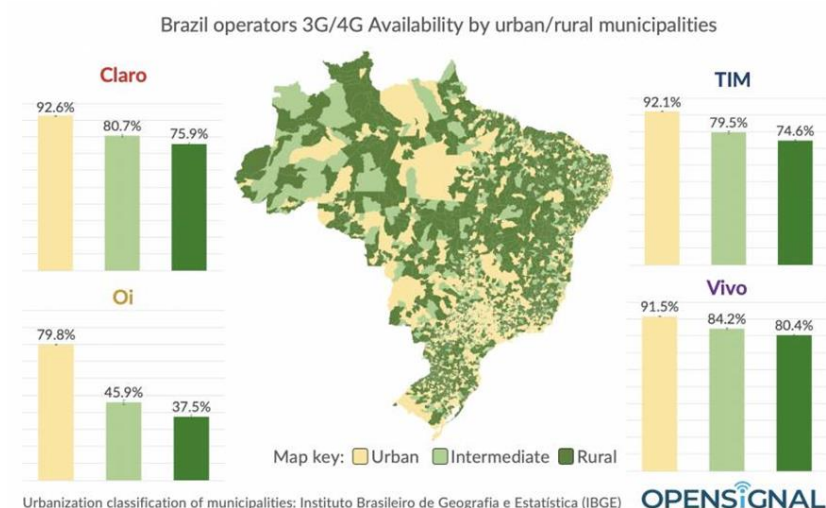
De acordo com uma pesquisa feita em 2019 pela *OpenSignal* medindo a qualidade de conexão a redes móveis em municípios urbanos e rurais do país temos resultados que apontam a disponibilidade do sinal de 4G em municípios urbanos é quase duas vezes maior que aquele encontrado nas cidades rurais. Mas quando se adiciona o 3G na conta, essa diferença é bem menor, veja no mapa da Figura 17 que mostra o 3G/4G e 4G isolado, nas áreas urbanas, intermediárias e rural.

Figura 17 - Mapa de cobertura do Brasil.



Na figura 18 temos as 4 operadoras brasileiras com o 3G/4G espalhado pelo Brasil. A pesquisa se baseou nas definições do IBGE, que classificou as cidades como "urbanas", "intermediárias" ou "rurais" de acordo com sua topografia, localidade e densidade populacional.

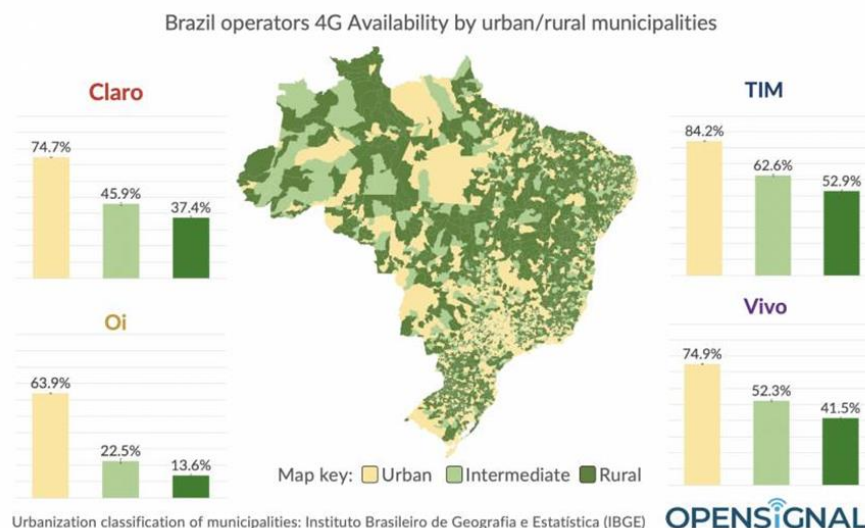
Figura 18 - Operadoras e suas Coberturas.



A disparidade entre as operadoras se reflete mais ainda quando o assunto é 4G. A rede da TIM teve a melhor avaliação, com conexão bem-sucedida nos municípios urbanos em 84% dos casos. Enquanto isso, os usuários da Oi só conseguiram acessar a rede de quarta geração em 64% das tentativas.

Isso foi ainda mais extremo nos municípios rurais, onde os usuários da TIM desfrutaram de mais de 50% de disponibilidade 4G. A Oi, no outro extremo do ranking, só ofereceu alta conectividade em 14% das vezes. O mapa abaixo ilustra esse quadro (apenas a cobertura 4G no Brasil das áreas urbanas, intermediárias e rurais):

Figura 19 - Cobertura 4G.



O mapa da figura 19 ilustra a cobertura 4G espalhada no Brasil, e foi concluído que há espaço para melhorar, e que o Brasil está melhorando, mas que ainda tem uma longa estrada a ser trilhada, porque o país continua atrás de vizinhos latinos como a República Dominicana e a Guatemala, em termos de disponibilidade da rede 4G. Ainda assim, é importante apontar que apenas Hong Kong, Japão, Holanda e Coreia do Sul conseguiram resultados de 90% em todas as suas operadoras móveis.

Seguindo a mesma ideia, mas agora mostrando nas tabelas 3 e 4, a evolução dos municípios e populações cobertos pela tecnologia 3G e 4G por cada operadora.

Tabela 3 - Cobertura de Redes 3G no Brasil (Jan/20).

Operadora	2017	2018	2019	Jan/20
Vivo	4.027	4.417	4.502	4.502
Claro	3.409	3.829	4.017	4.021
TIM	3.013	3.169	3.283	3.283
Oi	1.603	1.644	1.645	1.645
Algar	87	87	87	87
Sercomtel	2	2	2	2
Nextel	410	410	410	410
Total	5.218	5.385	5.484	5.486
% do Total de municípios	93,7%	96,7%	98,5%	98,5%

Tabela 4 -População coberta com tecnologia 3G no Brasil.

Operadora	2017	2018	2019	Jan/20
Vivo	92,7%	95,0%	95,6%	95,6%
Claro	91,5%	93,8%	94,7%	94,8%
TIM	85,8%	87,4%	88,4%	88,4%
Oi	75,0%	75,9%	75,9%	75,9%
Algar	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Sercomtel	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
Nextel	47,2%	47,6%	47,6%	47,6%
Total	99,1%	99,5%	99,8%	99,8%
Operadora	2017	2018	2019	Jan/20

De acordo com a tabela 3, de Cobertura de Redes 3G no Brasil, é visto de forma clara que tirando a Algar, Sercomtel e Nextel que não tiveram crescimento, as outras operadoras como Vivo, Claro, TIM e Oi, aumentaram suas coberturas de rede 3G, ao passar dos anos. A Vivo tem o maior número de cidades com cobertura 3G, totalizando 4502, mas a Claro adquiriu 612 municípios, ou seja, novas coberturas de 2017 a 2020, sendo o maior crescimento entre as últimas quatro operadoras citadas, vindo em seguida a Vivo com 475 novas áreas de coberturas, depois a TIM com 270 e por último a Oi com 42 municípios.

E na tabela 4, da população coberta com o 3G no Brasil, tem-se a porcentagem das operadoras, onde consegue-se ver que a Vivo lidera com maior porcentagem de cobertura dessa tecnologia no país, vindo colada nela a Claro, em seguida a TIM, Oi e assim por diante, em relação ao crescimento da população com cobertura do 3G, de 2017 até 2020.

5.5 Cobertura Leme

Por causa do isolamento social, não será possível a realização dos testes em campo na cidade de Leme em São Paulo. A pesquisa será realizada por uma plataforma online; não contará com todos os benefícios de um aplicativo remoto, mas determinará a melhor cobertura de cada Operadora e mostrará os melhores pontos da cidade de Leme (SP). Optamos por escolher as 4 principais Operadoras do Estado de São Paulo: Vivo, Claro/Nextel, Tim e Oi.

5.6 Planejamento de distribuição e parâmetros estabelecidos pelas operadoras.

Antes de começarmos a mostrar as coberturas de Leme em São Paulo e do Brasil vamos explicar como as operadoras fazem esse planejamento; entrevistamos uma colega da área e ela nos explicou uma maneira de como é feito toda essa medição da cobertura.

Quando vamos implantar o site, dá para fazer uma predição, definindo modelo da antena, altura, o alinhamento, entre outros; assim consegue-se prever a área em que cada célula vai cobrir dentro daquela tecnologia. Agora, quando já foi implantado, antes da operadora aceitar o site, é rodado um DT (*Drive test*) em campo, onde através do software vai fazendo o teste pra ver onde está cobrindo, onde não está, observando se a cobertura está boa e por onde está atuando, além do DT, tem ferramentas, em que é colocado para coletar dados, tendo uma ideia do dado do usuário, exemplo, coloca em um site, coletando o dia inteiro, e assim consegue-se ter uma noção de número de amostra de cada célula e várias informações, onde hoje em dia é muito utilizado, principalmente para otimização, ou seja, para conseguir melhorar a percepção do usuário, que é a otimização da parte de acesso.

O mais utilizado para analisar a área de cobertura, são os níveis de RSRP (sinal), RSRQ (qualidade) 4G. Possui também o MTD que coleta dados por um período em que dá para deixar determinado e consegue-se avaliar cobertura, entre outras coisas.

Possui diversas equipes de *Drive Test (DT)* que trilham os caminhos servidos pela cobertura das empresas de telefonia móvel celular. O *drive test*, como já citado, é necessário, pois as redes móveis de celular precisam ter seu desempenho avaliado, na maioria das vezes por testes em campo, e nesses testes são coletados para ajudar na análise de parâmetros de desempenho da rede:

- Capacidade e cobertura
- Qualidade de voz e dados
- Comparação com outras redes

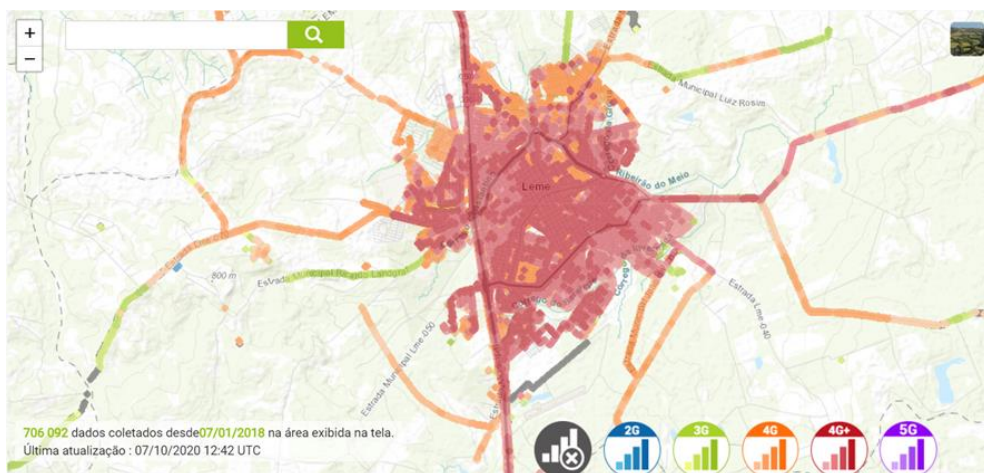
Além disso, esse tipo de análise é necessário para se conhecer o limite do desempenho de rede wireless, em geral, e o *Drive Test* é eficiente, prático e confiável na bateria de testes de campo, onde mede o desempenho de redes wireless. Assim, com essas informações, dá para se fazer os ajustes que a rede precisa, e na tecnologia das redes móveis, que é muito dinâmica, estes ajustes e acertos são necessários.

O equipamento de coleta de dados de uma equipe de *Drive Test*, fica montado em um veículo (repleto de fios e antenas), que segue por rotas pré-determinadas em torno dos sites de uma rede. E o equipamento possui um software, instalando em um *notebook*, ao que pode se conectar a celulares, modems, GPS etc. Para obter-se gráficos, níveis diversos de parâmetros plotados na tela pelo *software* de coleta de dados, entre outras coisas.

5.7 Vivo

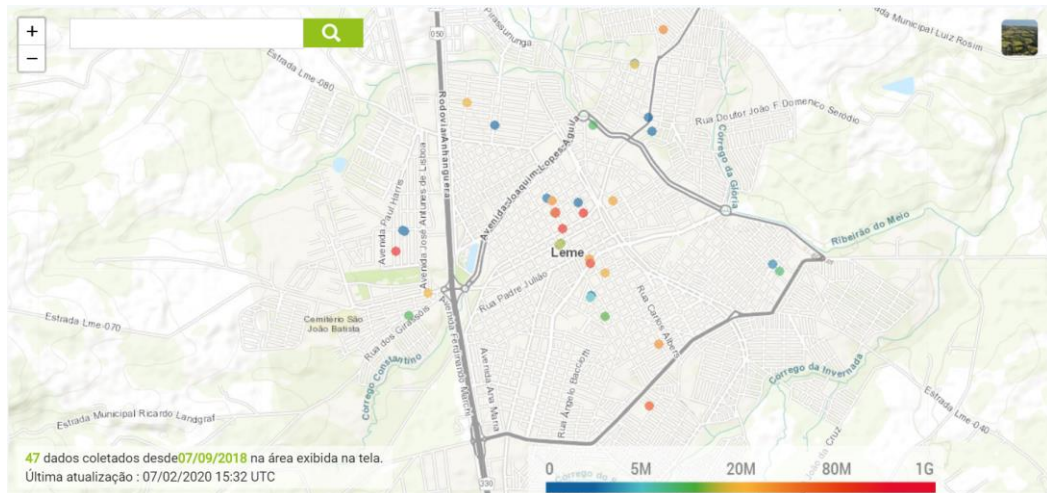
Primeiramente, para encontrarmos as coberturas que queríamos, utilizou-se um software chamado “nperf Speed Test” que é utilizado para testar a largura de banda e mostra a cobertura de internet móvel do mundo.

Figura 20 - Cobertura Vivo na Cidade de Leme (SP).



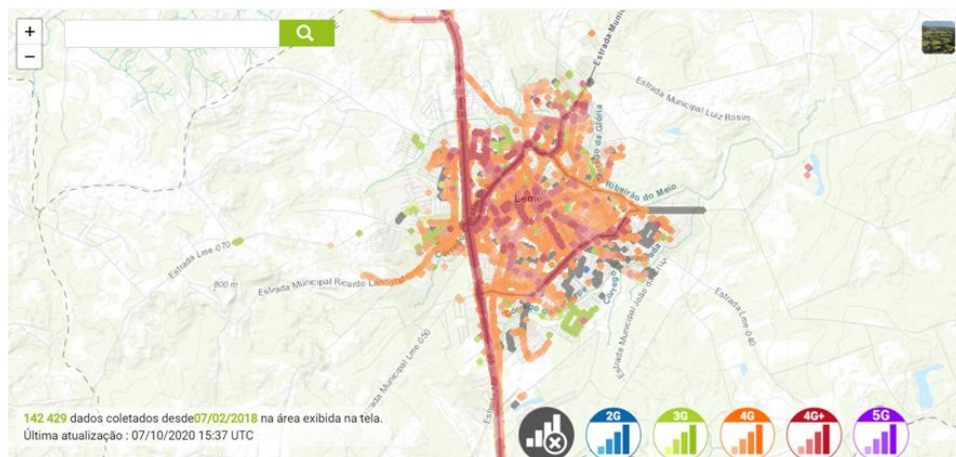
Este mapa de cobertura da VIVO da figura 20, mostra a eficiência da cobertura de telefones celulares, e o motivo pelo qual é considerada a melhor, tanto em cobertura, quanto em velocidade. A cobertura geral das redes 4G+ e 4G da operadora é impressionante, com apenas alguns bolsos em branco. A figura 21 mostra os principais pontos de velocidade mensurados na cidade, informando a velocidade.

Figura 21 – Velocidade Vivo na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).



5.8 Claro

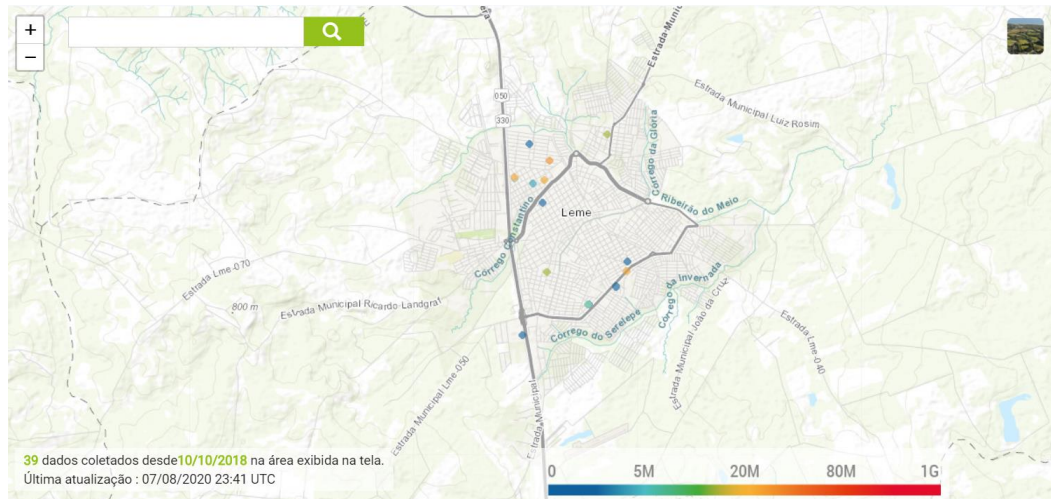
Figura 22 - Cobertura Claro na Cidade de Leme (SP).



Embora a Vivo seja a favorita permanente na cobertura de telefonia celular, a Claro fez uma expansão significativa da rede recentemente e está se aproximando, como se pode ver na figura 22, onde mostra a cidade do interior de São Paulo, Leme, com a tecnologia do 3G e 4G espalhada pela cidade. Como mostra o mapa de cobertura da Claro, a operadora adicionou mais largura de 4G. Com uma impressionante cobertura de telefonia celular ao da cidade. Em

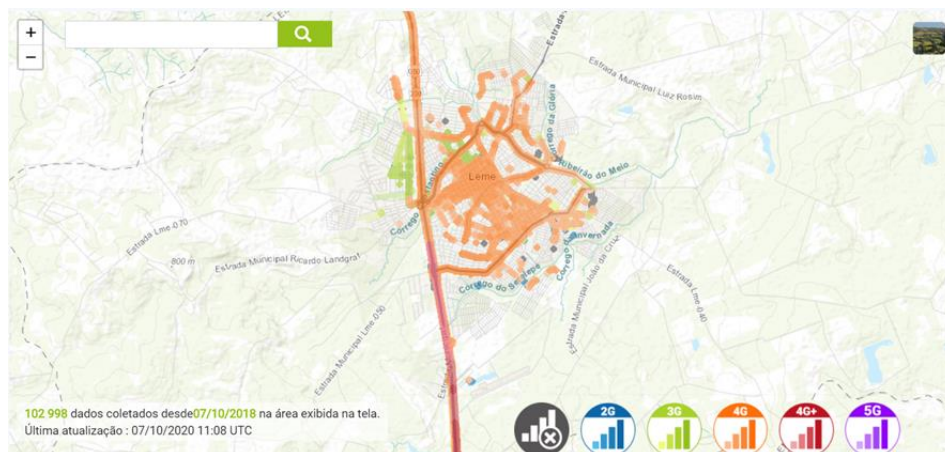
questões de velocidade, ao contrário da Vivo seus pontos elevados estão concentrados fora do centro da Cidade, e não conseguiu atingir velocidade de 1G por exemplo.

Figura 23 - Velocidade Claro na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).



5.9 TIM

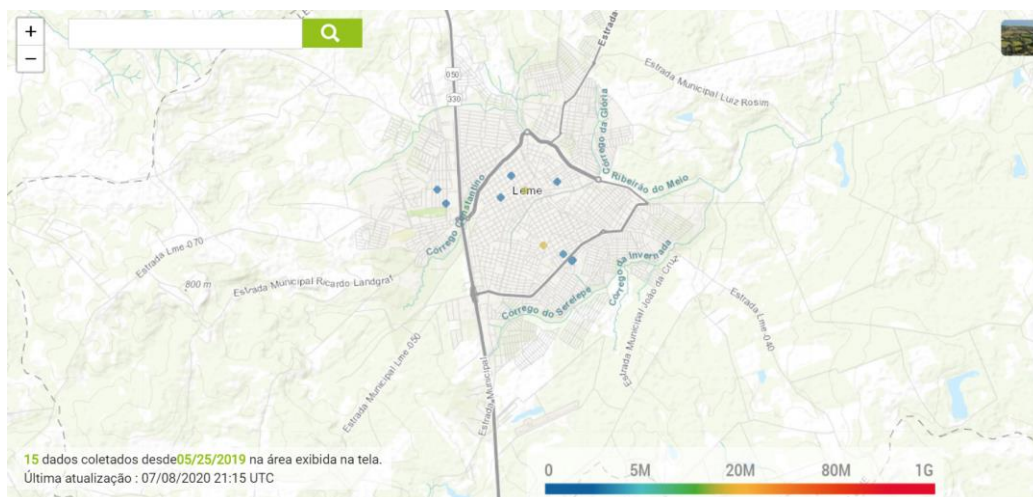
Figura 24 - Cobertura TIM na Cidade de Leme (SP).



A TIM também expandiu sua presença na rede recentemente, embora não tão significativamente quanto a Claro, a diferença é significativa se olharmos as figuras 22 e 23 e comparar com as figuras 24 e 25. A operadora adicionou mais cobertura de celular 4G, e isso inclui a banda aprimorada de 4G+. Olhando para o mapa de cobertura da TIM, existem algumas zonas mortas, como na margem da cidade, mas a maioria é bem coberta. A figura 25 mostra

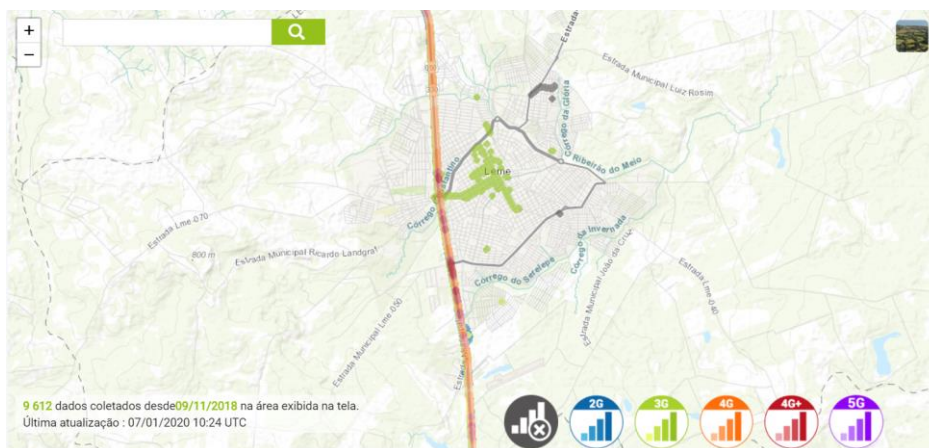
sua velocidade atingidas em alguns pontos da Cidade. Como a Vivo, está mais presente no centro da cidade e acabou não atingindo velocidades altas como a primeira operadora mencionada.

Figura 25 - Velocidade TIM na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).



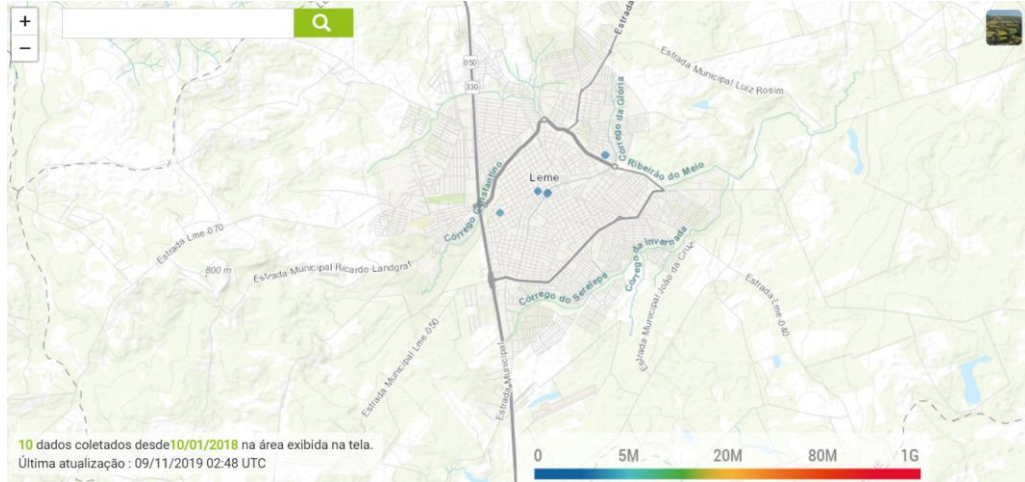
5.10 OI

Figura 26 - Cobertura OI na Cidade de Leme (SP).



O mapa de cobertura da OI demonstra porque a operadora está em quarto lugar quando se trata de cobertura de telefone celular, nota-se na figura 26 a cobertura da OI na cidade de Leme. Amplas faixas são descobertas; a cobertura ainda utiliza em sua maioria a rede 3G. A figura 27 mostra a velocidade mensurada em alguns pontos na cidade, mostrando uma deficiência muito grande comparado a Operadora Vivo.

Figura 27 - Velocidade OI na Cidade de Leme (de 0 a 1000Mbps).



5.11 Simulação MIMO Massivo

Para atender um dos requisitos da Tecnologia 5G, é necessário a utilização em ampla escala de MIMO, conhecido como “Massive MIMO”. Com o aumento da frequência, os elementos que formam a antena podem ser miniaturizados, aumentando-se assim o número de antenas utilizadas [5].

Este requisito se justifica, porque, conforme a equações (1) e (2), a capacidade de transmissão aumenta à medida que o número de antenas também aumenta. Então, por meio do “Massive MIMO” é possível construir sistemas com alta capacidade para atender a Tecnologia 5G.

$$C_{MIMO} = N \log_2 \left(1 + \frac{\zeta E_x}{N_0 N} \right) \quad (1)$$

Onde:

C_{MIMO} é a capacidade do canal sem CSIT;

N é o número de antenas ($N = N_t = N_r$);

E_x é a energia dos sinais transmitidos;

N_0 é a densidade espectral de potência;
 ζ é o ganho total do canal;

$$C = \min(N_r, N_t) \log_2(1 + SNR) \quad (2)$$

Onde:

C é a capacidade do canal com CSIT;

N_t é o número de antenas na transmissão;

N_r é o número de antenas na recepção;

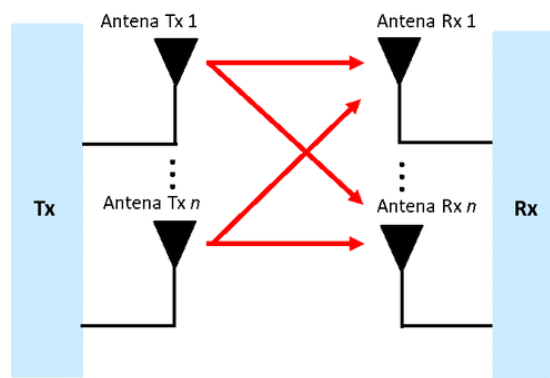
SNR é a relação sinal ruído.

A Equação (1) é usada para calcular a Capacidade de Transmissão quando o CSIT (Channel State Information at the Transmitter) não está disponível. Por outro lado, quando este dado é conhecido, usa a Equação (2) e, nesse sentido, espera-se obter um ganho na Capacidade de Transmissão [25].

Diante disso, simulou-se o Sistema de Transmissão MIMO, sem CSIT, para canais AWGN, considerando 7 quantidades diferentes de antenas na transmissão (T_x) e recepção (R_x). O objetivo da simulação foi observar a Capacidade do sistema em função da relação sinal ruído (SNR).

Portanto, considerando a Equação (1), entre outros modelos matemáticos, foi desenvolvido um algoritmo para implementar o Sistema da Figura 28 no software Matlab, e observar os resultados tocante a Capacidade de Canal.

Figura 28 – Sistema de Transmissão MIMO

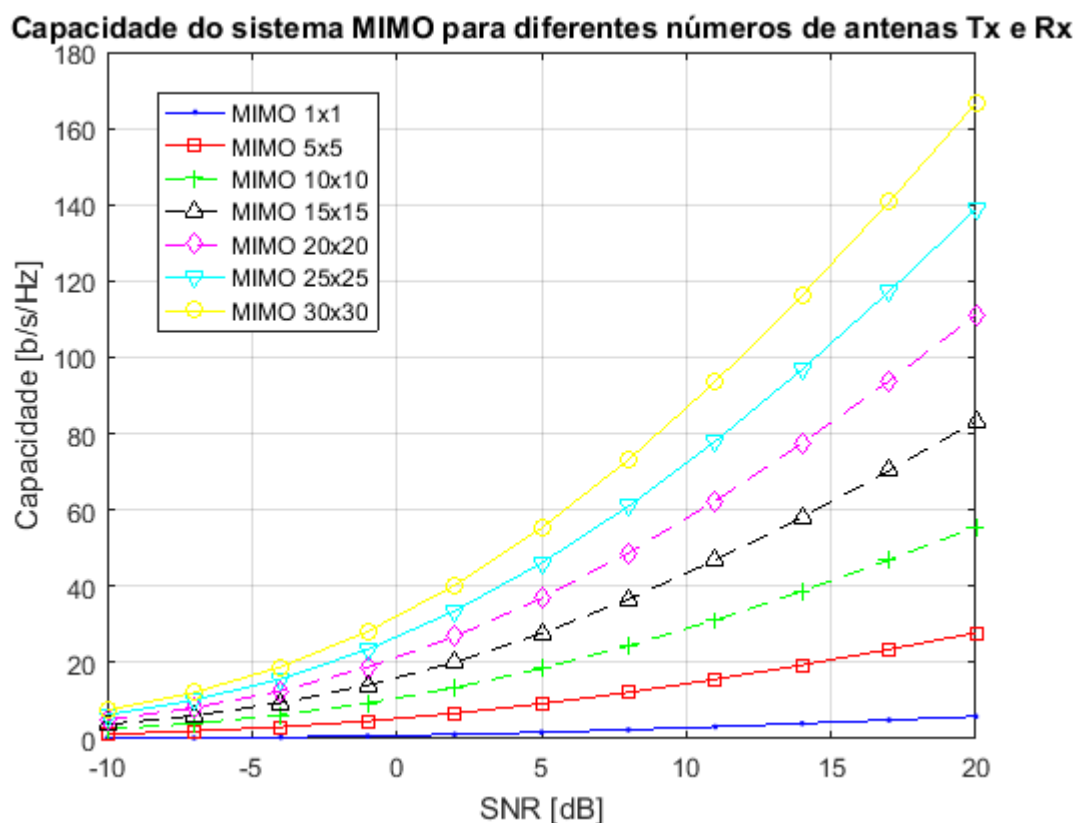


Nesse sentido, convém enfatizar que para estimar as imperfeições do canal de comunicação, considerou-se o canal AWGN, isto é, o canal Gaussiano com ruído branco. Além

disso, foi realizado 10.000 interações a fim de se aproximar, cada vez mais, de um resultado preciso. Outro ponto importante, foi o uso do algoritmo de enchimento de água [26] para a distribuição de potência e, em virtude disso, considerou-se que na simulação não houve perda de caminho, ou seja, a potência inicial é igual a potência final.

Diante de todo o exposto, confira o resultado da simulação na Figura 29, e observe que foi considerado MIMO 1x1, MIMO 5x5, MIMO 10x10, MIMO 15x15, MIMO 20x20, MIMO 25x25, MIMO 30x30.

Figura 29 – Capacidade do Sistema MIMO em função da SNR



Note que, de fato, a capacidade de canal aumenta à medida que o número de antenas aumenta. Além disso, como era de se esperar, o aumento da SNR também provoca um aumento na Capacidade do Sistema.

Portanto, conclui-se que a ideia de aumentar o número de antenas da configuração MIMO é plausível, visto que um dos pontos de evolução da Tecnologia 4G para o 5G é, justamente, o aumento da Capacidade de Canal para permitir maior transmissão de dados.

Por fim, a simulação com o CSIT não foi realizada, porque não faz parte do objetivo deste trabalho aprofundar este assunto.

Código Principal (CapacidadeMIMO)

```
1 % Os vetores abaixo precisam ter o mesmo tamanho (7)
2 nTxVec = [1 5 10 15 20 25 30]; % Vetor com o número de antenas na transmissão
3 nRxVec = [1 5 10 15 20 25 30]; % Vetor com o número de antenas na recepção
4
5 % Dados do Canal AWGN
6 noisePower = 1e-4; % Potência do ruído branco (AWGN)
7 snr_dBVec = -10:3:20; % Vetor com os valores de SNR em escala dB
8
9 nIterations = 1e4; % Número de interações
10
11 % A quantidade de curvas precisa ser do tamanho do Vetor Tx e Rx (7)
12 curveType = {'b.-'; 'rs-'; 'g+--'; 'k--^'; 'm--d'; 'cv-'; 'yo-'}; % Tipos de curvas da Figura
13
14 nAntennasVecRx = length(nRxVec); % Comprimento do vetor Rx (7)
15 nAntennasVec = nAntennasVecRx; % Número de casos que será simulado (7)
16
17 snrVec = 10.^(0.1*snr_dBVec); % Vetor com os valores de SNR em escala dB
18
19 nsnr = length(snrVec); % Número de valores de SNR (11)
20
21 CapacidadeVec = ...
22 zeros(nAntennasVec, nsnr, nIterations); % Comando para carregar os vetores de Capacidade
23
24 for n = 1 : nAntennasVec % Condição para simular cada uma das 7 configurações: 1, 5, 10, 15, 20, 15, 30 antenas
25     nTx = nTxVec(n); % Número de antenas na transmissão em cada configuração
26     nRx = nRxVec(n); % Número de antenas na recepção em cada configuração
27     for j = 1 : nsnr % Condição para simular cada um dos 11 valores de SNR
28         snr = snrVec(j); % SNR de cada interação
29         txPower = noisePower*snr; % Cálculo da Potência Transmitida
30         for i = 1 : nIterations % Condição para realizar 10.000 interações
31             h = 1/sqrt(2)*(randn(nRx, nTx)+1i*randn(nRx, nTx)); % Geração dos Coeficientes do Canal
32             S = svd(h); % Cálculo da decomposição de valores singulares da Matriz dos Coeficientes do Canal
33
34             cnr = S.^2/noisePower; % Portadoras do ruído
35             [P] = waterfill(cnr, txPower); % Potência Transmitida com base no Algoritmo de Enchimento de Água
36             capacidade = sum(log2(1+P.*cnr)); % Cálculo da Capacidade de Canal de cada interação
37             CapacidadeVec(n, j, i) = capacidade; % Alocação dos valores da Capacidade de Canal
38         end % Fim do laço de repetição de interações
39     end % Fim do laço de repetição dos 11 valores de SNR
40 end % Fim do laço de repetição para simular cada uma das 7 configurações de MIMO
41
42 CapacidadeVecAvg = mean(CapacidadeVec, 3); % Capacidade de Canal Média
43
44 % Operações para gerar a Figura da Simulação
45 figure(1); % Comando para gerar figuras
46 legendStr = cell(nAntennasVec, 1); % Vetor com as 7 legendas
47 for n = 1 : nAntennasVec % Laço de repetição para plotar cada uma das 7 curvas no mesmo plano
48     plot(snr_dBVec, CapacidadeVecAvg(n, :), curveType(n)) % Comando para plotar as curvas
49     hold on % Comando para manter a curva anterior
50     legendStr{n} = sprintf('MIMO %dx%d', ...
51         nTxVec(n), nRxVec(n)); % Posição unitária do vetor de legendas
52 end % Fim do laço de repetição para simular cada uma das 7 curvas
53 xlabel('SNR [dB]') % Título do eixo x
54 ylabel('Capacidade [b/s/Hz]') % Título do eixo y
55 grid on % Grid no plano do gráfico
56 title('Capacidade do sistema MIMO para diferentes números de antenas Tx e Rx') % Título do gráfico
57 legend(legendStr, 'location', 'best') % Legenda do gráfico
```

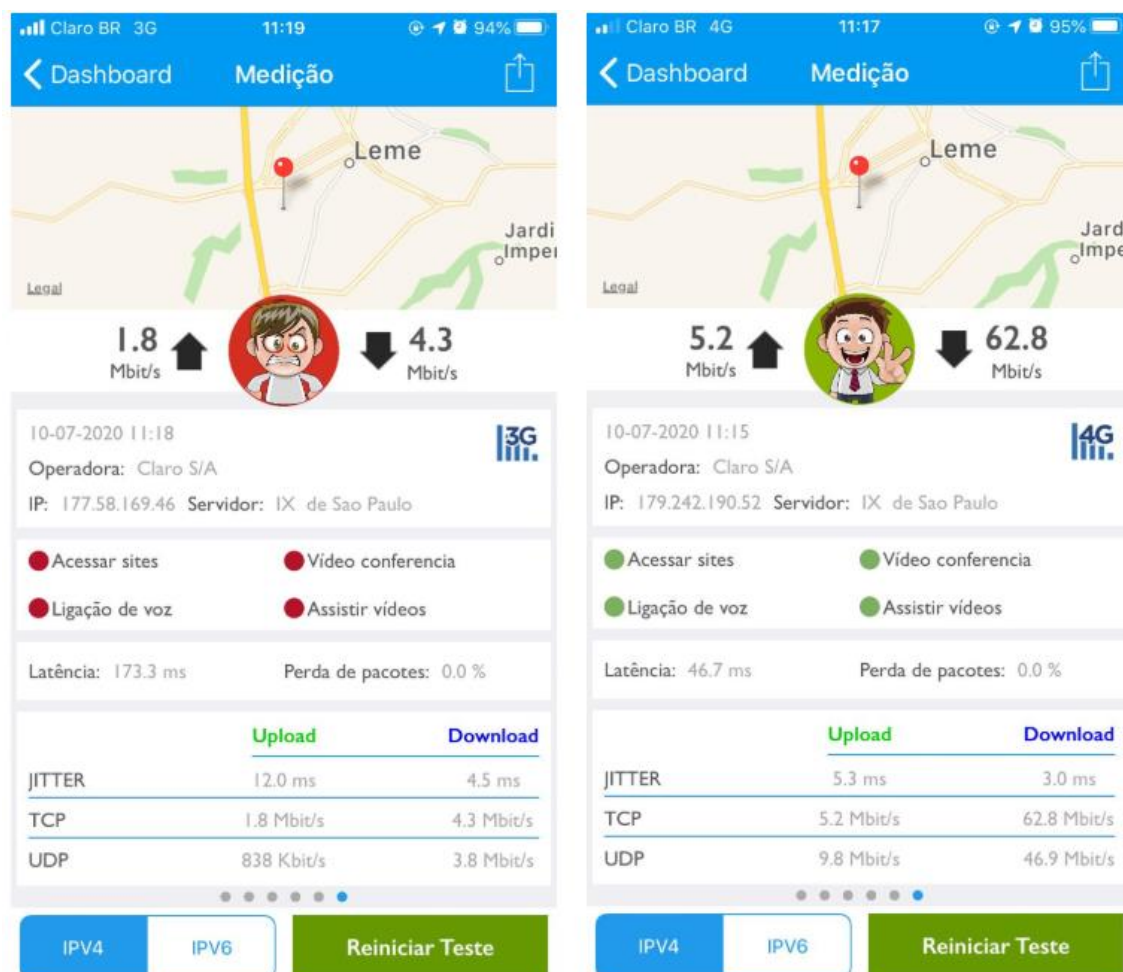
Código da função “Enchimento de água” (*waterfill*)

```
1 function [P] = waterfill(CNR,Pmax) % Função para calcular a potência
2
3     Pin = (Pmax + sum(1./CNR)) ./ ( length(CNR) ) - 1./CNR; % Cálculo da potência inicial
4
5     while any( Pin < 0 ) % Condição para o enchimento de água (Algoritmo)
6         negIndex      = Pin <= 0; % Índice negativo ou nulo
7         posIndex      = Pin > 0; % Índice positivo
8         NkRem         = nnz(posIndex); % Número de elementos de matriz diferente de zero
9         CNRRem        = CNR(posIndex); % Razão de contraste do ruído
10        powAllcTemp    = (Pmax + sum(1./CNRRem)) ./ (NkRem) - 1./CNRRem; % Cálculo da Potência final
11        Pin(negIndex) = 0; % Vetor da potência inicial recebe 0 na posição "negIndex"
12        Pin(posIndex) = powAllcTemp; % Valor da potência final é alocado na posição "posIndex"
13    end % Fim da condição para o enchimento de água
14    P = Pin; % Potência Final
15 end % Fim da função
```

5.12 Observações Adicionais

A internet móvel em Leme, de uma localidade residencial, para termos uma noção da diferença do 3G e 4G, também para tirar de base o valor de upload e download na cidade, em relação a internet móvel. É visto uma boa diferença entre o 3G e o 4G, em relação as medições na figura 30, ou seja, com o 3G tem-se uma taxa de *downstream* (é a taxa de transferência de dados em direção ao terminal - *smartphone* no caso) baixa, diferentemente do 4G, que tem 62,8Mbps, onde possui um tráfego bom de internet, ou seja, uma resposta(*download*) muito rápida, sendo muito melhor para acessar a internet móvel, com alta velocidade.

Figura 30 – Taxa de upload e download do 3G e 4G da operadora CLARO na cidade de Leme, SP.



Com o 5G isso vai ser muito mais rápido; ainda não temos as medidas, pois o 5G não chegou nessa região, mas com ele o acesso vai ser muito melhor, fora todas as vantagens que vai trazer, como já comentado nas citações do trabalho.

6 Conclusão e Trabalhos Finais

A comunicação é uma área de suma importância para crescimento acelerado do atual momento do mundo; partindo desse ponto, as redes móveis também seguem essa tendência, visto a explosão na utilização de dispositivos móveis como os telefones celulares, tanto na utilização de dados de voz quanto para a crescente troca de dados na internet móvel.

O Brasil vem subindo cada vez mais na aquisição de aparelhos e tráfegos 4G LTE (tecnologia adotada no país). Um dos fatores preponderantes para esse crescimento foi o desenvolvimento da tecnologia através das *Releases* 10 a 12. As técnicas empregadas no LTE-*Advanced* servirão como base para a padronização do 5G.

As regiões Sudeste e Sul do país, são as melhores comparadas com outras regiões do Brasil. Essas regiões também possuem um elevado número de desenvolvimento, são os estados mais populosos do país, onde a densidade populacional é maior e por consequência possuem os dois maiores PIB do país.

Isso se refere aos interesses das operadoras no país, onde não estão apenas querendo atingir os melhores picos de velocidades, mas como também estão investindo em tecnologias que possibilitam com que elas não sofram com constantes quedas relacionadas à conexão com a rede.

A cobertura no Brasil ainda está muito distante comparado com outros países, como Estados Unidos, onde poucas regiões apresentam vazios. O propósito do 5G, não é só ser uma nova tecnologia e sim agregar as qualidades da Terceira e Quarta geração. Com a chegada desta nova geração, espera-se uma tecnologia maior que possa expandir a cobertura até mesmo nas regiões menos populosas do país. Além do 5G oferecer melhorias em serviços como streamings e internet das coisas, por exemplo. Essa geração também irá oferecer um aprimoramento em questões de hardware, o que poderá incluir uma rede de cobertura com melhor qualidade.

A maior dificuldade encontrada em realizar esse TCC, foi a ausência do teste em campo, onde este nos permitiria com mais precisão determinar áreas de coberturas, taxas, qualidades de serviços e concluir então a melhor operadora da cidade de Leme (SP), indicando também as melhores regiões para utilizar essas redes. Com ajuda do software *nPerf* conseguimos ter um norteamento sobre as coberturas, operadoras e suas respectivas gerações e com a simulação feita pelo MATLAB, do *Massive MIMO*, conseguimos visualizar também como funciona um pouco na prática essa nova tecnologia que é destaque da quinta geração.

A VIVO foi considerada a melhor operadora da cidade, por ter a tecnologia 4.5G muito bem desenvolvida, uma área de cobertura muito grande e presença de outras gerações, como 3G e 4G também espalhados pela cidade, garantindo assim internet para todos os seus consumidores. CLARO/NEXTEL, TIM e OI são respectivamente as outras melhores operadoras situadas na cidade.

A cidade de Leme pode ser usada como espelho para outras cidades do interior do Estado de São Paulo, lembrando que na maioria das cidades do país, encontramos um cenário

pior em questão de infraestrutura das redes móveis, principalmente as cidades (interior) que encontram-se em outras regiões, como: Centro Oeste, Nordeste e Norte.

Além de todas essas conclusões, temos também a “Guerra Fria” que está acontecendo entre EUA x China, sendo mais um passo na história mundial, onde dois países muito poderosos se enfrentam e se houvesse uma guerra armamentista o mundo teria poucas chances de “sobreviver”. Portanto ambos focam em ter mais poder que o outro, ou seja, em disputar a guerra tecnológica para ver qual vai mais longe e desenvolve mais, nesta luta política e econômica.

Vale ressaltar também, que tudo dito a respeito da tecnologia de Quinta Geração não passa de especulação e alguns experimentos, tendo como base os estudos e testes que vem sendo desenvolvidos. Especula-se ainda, que serão grandes as dificuldades para o desenvolvimento dos sistemas de telecomunicação sem fio para a sociedade do futuro, desde as limitações físicas e técnicas, até restrições econômicas e governamentais. Se de fato esse projeto da 5G se concretizar, será um grande avanço da Rede de Comunicação de Telefonia Móvel.

Portanto, ambos focam para que se tenha um serviço de qualidade e que alcance os lugares mais remotos e não apenas os grandes centros é necessário que se invista em infraestrutura de rede e equipamentos, utilizando-se das técnicas apresentadas e um aperfeiçoamento delas, com o máximo de aproveitamento do espectro.

7 Referências

- [1] “Ricardo Bergher, Evolução do 1G ao 5G”, Site ZOOM, 2020.
- [2] “Temas Especiais. Telecom Brasil. Móvel. Tutorial. América Latina”, site TELECO, 2020.
- [3] “3G: Tecnologias de Celular”, Site teleco.
- [4] “4G: Tecnologias de Celular”, Site teleco.
- [5] “5G: Tecnologias de Celular”, Site teleco.
- [6] “Tecnologias-3g-e-4g-cdma-2000-umts-hspa-hspa-lte”, Site PROEMINENTE, 2019.
- [7] “Camille Vidan, What-is-lte-advanced-lte-a-a-quick-and-dirty-primer” Site Unboxph, 2017
- [8] “CORNÉLIO, J. B. M. Inovações tecnológicas no setor de telecomunicações no brasil”, 2011.
- [9] “GUEDES, L. C. dos S.; VASCONCELOS, R. R. de. Umts, hspa e lte. In.Universidade Federal do Rio de Janeiro”, 2009
- [10] “IGLESIAS, F. dos S. C. Análise da viabilidade de indicadores e infraestrutura e confiabilidade de redes móveis 4g. Universidade de Brasília”, 2014.
- [11] “Redação UOL CLARO 5G DSS, Brasil, Site UOL, 2020.

- [12] “DIAS, P. H. S. Redes 5g ii: A nova geração da rede celular. In:[s.n.]”, 2016.
- [13] “LIMA, L. C. T. D. P. P.; DANTAS, S. Quinta geração das redes móveis. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais”, 2014.
- [14] “Alex Vidigal Bastos, Comunicação D2D para 5G de Redes Celulares”, 2017.
- [15] “5G Massive MIMO Architectures, Small Cells Versus Direct Access” Document IEEE, 2019.
- [16] “MENDES, J. R. R. 5g: A quinta geração. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Portugal”, 2013.
- [17] “Nperf Speed Test” – Software Testes de medições e performance, 2019
- [18] “João Piccioni, editor, Caixas misteriosas” Site EMPIRICUS, 2019.
- [19] “Previa-do-5g-chega-ao-brasil-como-dss-entenda-transicao-para-5a-geracao”, Site VIPOFFICE, 2020.
- [20] “André Luiz Pereira, 5g-operadoras-firmam-acordo-sinal-nao-interferir-parabolicas” Site TECMUNDO, 2020
- [21] “Operadoras-lancam-primeira-experiencia-do-5g-no-brasil-mas-servico-ainda-e-limitado, site G1”, 2020
- [22] “Open Signal – Empresa: Análise Móvel Especializada”, Londres, fund. 2010
- [23] “Nperf Speed Test” – Software Testes de medições e performance, 2019
- [24] “Operadoras-driblam-leilao-e-antecipam-5g-no-brasil” site OCONSUMERITA, 2002.
- [25] “Monografias – ufrn brjspui/bitstreamTCC_Estudo_de_capacidade_MIMO_Suerlene”, 2019.
- [26] “Cleve Moler – MATLAB – MathWorks – MATLAB & Simulink” Software MATLAB version 2020.
- [27] “Aplicativo SIMET – Teste sua velocidade”
- [28] “WHSTLEOUT. Cell Phones, guides and coverage. EUA.
- [29] “O que é o 5G e como ele vai mudar sua vida. In: [s.n.]”, Site EXAME. 2015.
- [30] “MENDES, J. R. R. 5g: A quinta geração. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Portugal”, 2013.
- [31] “RODRIGUES, D. b. F. Danusa dos S.; AZEVEDO, J. P. de A. Telefonia móvel: Evolução e dependência. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes”, Rio de Janeiro, 2015
- [32] “Minha Conexão: 5G BRASIL – entenda como funciona a tecnologia”, Brasil, 2020.