



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

CAIO MACÊDO SANTOS  
JOYCE LIMA NOGUEIRA

**EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS MÓVEIS, NOVOS DESAFIOS E O IMPACTO  
PARA AS NOVAS APLICAÇÕES COMO A IOT**

**Orientador: Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Díaz.**

Brasília  
Junho, 2021.

CAIO MACÊDO SANTOS

RA: 21607217

JOYCE LIMA NOGUEIRA

RA: 21504040

**EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS MÓVEIS, NOVOS DESAFIOS E O IMPACTO  
PARA AS NOVAS APLICAÇÕES COMO A IOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia da Computação da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Orientador: Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Díaz.

Brasília

Junho, 2021.

CAIO MACÊDO SANTOS

JOYCE LIMA NOGUEIRA

**EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS MÓVEIS, NOVOS DESAFIOS E O IMPACTO  
PARA AS NOVAS APLICAÇÕES COMO A IOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia da Computação da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Orientador: Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Díaz.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. MSc. Francisco Javier de Obaldía Díaz**

**Orientador**

---

**Prof. Msc. Ivandro da Silva Ribeiro.**

**Examinador 1.**

---

**Prof. Msc. Tiago Leite Pereira**

**Examinador 2.**

Brasília

Junho, 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos a Deus, por nos dar saúde e sabedoria para desenvolvimento desta monografia. Agrademos aos nossos familiares que nos deram apoio durante todo percurso da graduação e ainda mais nessa reta final.

Agradecemos aos professores que no decorrer destes anos, nos transmitiram conhecimento e experiência que nos ajudará a traçar novos caminhos e a encarar desafios da nossa profissão. E agradecer em especial nosso orientador Mestre Francisco Javier Obaldía Díaz, que nos deu o suporte necessário no projeto final.

Agradecemos a todos os nossos amigos que nos acompanharam nesta jornada.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
1.1	Objetivos geral .....	9
1.2	Objetivos específicos.....	9
1.3	Justificativa da importância do trabalho.....	9
1.4	Motivação.....	10
1.5	Resultados esperados .....	10
1.6	Estrutura do trabalho .....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Conceitos importantes .....	12
2.1.1	Frequência.....	12
2.1.2	Largura de banda .....	13
2.1.3	Transmissão .....	14
2.1.4	Modulação .....	14
2.1.5	Quality Of Service (Qos).....	16
2.2	Primeira Geração 1G .....	17
2.2.1	Tecnologias.....	17
2.3	Segunda Geração 2G .....	18
2.3.1	Tecnologias.....	19
2.4	Terceira Geração 3G.....	22
2.4.1	Tecnologia e Arquitetura .....	23
2.5	Quarta Geração 4G.....	33
2.5.1	Definição 4G.....	33
2.5.2	O LTE.....	33
2.5.3	Tecnologias e Arquitetura .....	34
2.5.4	Modulação / Multiplexação no 4G.....	41
2.5.5	LTE-ADVANCED .....	49

2.6	5G .....	51
2.6.1	O que será o 5G? .....	51
2.6.2	Pilares do 5G .....	52
2.6.3	Tecnologias e Metodologias da rede 5G.....	54
2.6.4	Arquitetura 5G .....	57
2.6.5	Modulação / Multiplexação .....	61
2.6.6	Qualidade de Serviço - QOS .....	66
2.6.7	Maciço MIMO (mMIMO).....	67
2.6.8	Frequência.....	69
2.6.9	Aplicações para o 5G.....	69
3	Desenvolvimento do Projeto.....	70
3.1	Tecnologia no mundo.....	70
3.2	Comparação entre o 4G e 5G.....	71
3.2.1	Comparação de elementos da arquitetura .....	71
3.2.2	Comparação Multiplexação e Modulação .....	72
3.2.3	Comparação de QoS.....	73
3.2.4	Comparação MIMO.....	73
3.3	Apresentação dos dados referentes a pesquisas.....	74
4	IOT e 5G.....	78
5	Análise dos comparativos.....	80
6	Conclusão .....	81
6.1	Dificuldades e limitações.....	81
6.2	Estudos Futuros.....	81
6.3	Considerações finais.....	82
7	Bibliografia .....	83

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo principal expor a evolução das redes móveis, com foco no 4G e o 5G, que está começando a ser implantado no mundo. Elencando pontos a respeito de modulação e multiplexação utilizadas, trazendo pontos a respeito do OFDM e candidatos a serem utilizados no 5G como a GFDM, FBMC e UFMC. Bem como arquitetura de tecnologias consolidadas e estimativas a respeito da CORE 5G, onde são elencados os seus componentes e descritas suas funcionalidades, e também sobre a qualidade de serviço (QoS) empregadas nestas tecnologias. Onde estas informações servem como base para uma comparação entre as duas tecnologias, no âmbito do seu avanço no mundo, sua arquitetura, técnicas de modulação, QoS e as estruturas MIMO.

**Palavras chaves:** 4G, 5G, evolução, QoS, OFDM, MIMO, FBMC, CORE 5G;

## **ABSTRACT**

The main goal of this monography is to show the evolution of mobile networks, with a focus on 4G and 5G, which is beginning to be deployed worldwide. Listing points regarding modulation and multiplexing used, bringing topics about OFDM and candidates to be used in 5G such as GFDM, FBMC and UFMC. As well as architecture of consolidated technologies and estimates regarding the CORE 5G, which components are listed and its functionalities are discussed, and about the quality of service (QoS) employed in these technologies. Where this information serves as a basis for a comparison between the two technologies, within the scope of their advancement in the world, their architecture, modulation techniques, QoS and MIMO structures.

**Keywords:** 4G, 5G, evolution, QoS, OFDM, MIMO, FBMC, CORE 5G.



## 1 INTRODUÇÃO

É possível afirmar, que ao decorrer da evolução humana foram surgindo diversas necessidades, uma delas era se comunicar a longas distâncias, com isso foram implantadas as primeiras redes de comunicações as quais foram evoluindo até chegar ao cenário atual. Na 1G (Primeira Geração), o intuito era demonstrar que era possível realizar a cobertura telefônica utilizando torres de rádio frequência. Nesta geração os celulares funcionam como rádios de comunicação FM (Frequency Modulation), que se conectam a rede de telefonia fixa. Evoluindo mais um pouco, foi possível a implantação do 2G (Segunda Geração), que trouxe consigo a telefonia digital para comunicações móveis e introduzindo a possibilidade de transmissão de mensagens de texto e pequenos arquivos, como SMS (Short Message Service). A geração seguinte 3G (Terceira Geração), possibilitou ao usuário o uso de dados no celular, o que se assemelha a utilização de banda larga, junto a essa geração, surgiram as primeiras lojas de aplicativos. O 4G (Quarta Geração), trouxe consigo um aumento de velocidade, possibilitando que o usuário se conecte a redes de maior largura de banda (ANATEL, 2021).

Com a conectividade possibilitada pelo 4G, foi possível a virtualização de diversos serviços que não seriam viáveis de implementação antes, como por exemplo, a utilização para chamar um veículo para se locomover. Mas, o que se pode esperar da próxima geração? O 5G (Quinta Geração) trará consigo evoluções não focadas somente no usuário de redes móveis, como suas antecessoras, mas também em aplicações industriais e automação. Esta geração disponibilizará três modos de uso, sendo eles:

1. Banda Larga Móvel avançada: com o foco em altas velocidades de download e upload, destinadas a usuários comuns;
2. Controle de Missão crítica: com foco de proporcionar uma conexão de baixíssima latência e altíssima confiabilidade, destinadas a aplicações mais sensíveis a atraso e erros;
3. Internet das Coisas Massiva: com foco no IoT (Internet of Things), buscando atender a grande quantidade de dispositivos, que demanda de uma grande cobertura e baixo consumo de bateria (ANATEL, 2021).

Pode-se perceber, portanto, a importância que cada uma dessas tecnologias teve para evolução da sociedade, onde sempre teve como meta trazer um melhor serviço para o usuário, e com a chegada da nova geração será possível ter uma evolução que vai além da percepção do usuário.

## **1.1 Objetivos geral**

O projeto tem por objetivo fazer uma linha temporal a respeito dos serviços de telefonia móveis, disponíveis até o momento no Brasil, e a fundamentação técnica para a tecnologia 5G que se encontra disponível em outros lugares do mundo, e que em breve deve estar presente no Brasil. Serão expostos pontos como: infraestrutura, onde se buscará trazer a evolução das redes móveis (1G, 2G, 3G, 4G e 5G) e as suas variações e como essas evoluções impactam na qualidade. Pesquisa por meio de formulário, que buscará saber a percepção das pessoas sobre a qualidade de suas atuais conexões, o que esperam para a tecnologia 5G e o que a nova rede 5G proporcionará como serviços e aplicações em segmentos e áreas de negócios.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Expor e explorar os serviços já consolidados como 1G, 2G, 3G e 4G.
- Explorar e fundamentar bases técnicas da tecnologia 5G.
- Fazer uma análise e comparação das tecnologias 4G e 5G.
- Fazer uma pesquisa de opinião com usuários, em relação a suas atuais conexões e o que eles esperam do 5G.
- Avaliar os impactos dessa tecnologia no cenário de IoT.

## **1.3 Justificativa da importância do trabalho**

Acredita-se que a evolução de sistemas de comunicação é algo constante, e este trabalho busca trazer uma visão de como esta evolução ocorre e o que pode-se esperar para gerações futuras de tecnologias de redes móveis.

É incrível notar cada parte da evolução das telecomunicações, onde no início era possível realizar apenas chamadas de voz e por muitas vezes limitadas pois, não tinham uma cobertura ampla e infraestrutura, e hoje é possível o acesso de qualquer lugar não só de chamadas, mas de diversos serviços sendo possível se comunicar por videochamada com uma pessoa no outro lado do mundo e tudo isso de maneira mais acessível.

Mas os serviços não ficam limitados apenas ao celular, com o advento da IoT é possível conectar outros aparelhos simultaneamente, desde controlar a luz do seu quarto, lembrar se realmente trancou aquela porta e até mesmo abrir o portão da sua casa com apenas um clique do seu aparelho celular. Todas essas possibilidades contribuem para a evolução de novas tecnologias que cada vez mais tem nos ajudado no dia a dia.

#### **1.4 Motivação**

Quando paramos para discutir sobre a qualidade das redes móveis sempre ocorreram diversos relatos, sendo eles positivos e negativos. Conversando sobre isso, foi pensado em demonstrar o que evoluiu de uma geração para outra e o que os usuários esperam de uma nova tecnologia móvel.

#### **1.5 Resultados esperados**

Acerca dos resultados a expectativa do trabalho consiste em:

- Demonstrar evolução das redes móveis;
- Apresentar serviços e possibilidades que o 5G irá proporcionar a sociedade;
- Analisar dados do formulário e ter uma visão por parte da sociedade, se essa evolução é enxergada pela população e o que se tem de expectativa para a nova geração;

#### **1.6 Estrutura do trabalho**

O desenvolvimento do trabalho é dividido em 6 capítulos, expostos da seguinte maneira:

1. O Capítulo 1, contendo a introdução aos assuntos abordados, motivação para a realização do trabalho, objetivos gerais e específicos a serem alcançados. Além da relevância do trabalho desenvolvido, seu escopo e outros trabalhos correlatos a este.
2. O Capítulo 2, que faz uso de referenciais teóricos descritos nas literaturas, publicações técnicas, dos fundamentos das gerações de tecnologias moveis e suas vantagens e desvantagens.
3. O Capítulo 3, que aborda o desenvolvimento do projeto. Efetuando uma comparação entre as principais características e mudanças entre a tecnologia 4G e 5G.
4. O Capítulo 4, apresenta os impactos e aplicações que serão possíveis ou melhoradas por meio da nova tecnologia móvel 5G.

5. O Capítulo 5, apresenta a análise sobre os comparativos entre a evolução recente das tecnologias móveis.

6. O Capítulo 6, resume as conclusões levando em consideração os objetivos gerais e específicos, seguido de sugestões para trabalhos futuros que podem ser aplicadas para quem quiser se aprofundar no tema tratado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Conceitos importantes

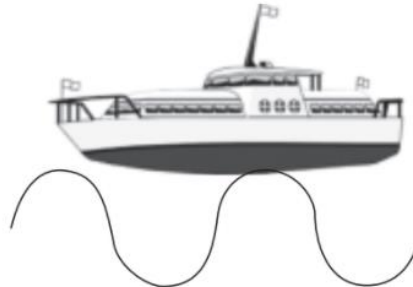
Para entender a evolução das tecnologias móveis ao longo dos anos é importante conhecer os conceitos que compõem cada tecnologia e o que eles agregaram de evolução a cada geração.

#### 2.1.1 Frequência

O conceito de frequência é de fundamental importância nas telecomunicações. Para entendermos isto, vamos supor que estivéssemos em alto-mar sentados em um barco. Em função da onda que passa por baixo do barco, isto é, quantas vezes o barco realiza o movimento de subir e descer, é que conhecemos a frequência de onda que está nos levantando. (SOARES, 2018).

A Figura 1, a seguir, ilustra o exemplo que utilizamos para explicar a frequência.

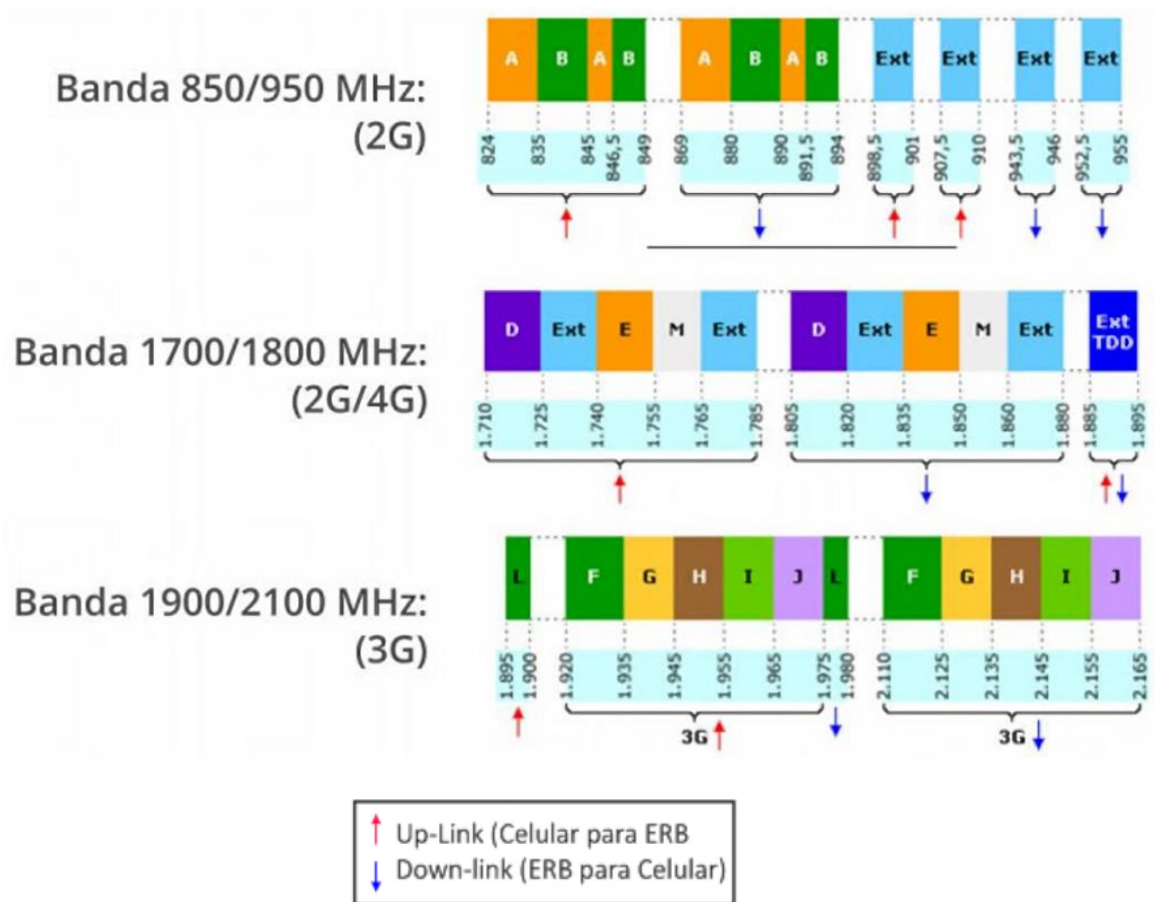
Figura 1 - Exemplo de Frequência



Fonte: SOARES, 2018

No serviço de telefonia móvel faz-se a alocação de faixas de frequências (ou chamado de espectros de frequências), que são necessárias para transmissão dos dados através dos canais de comunicação em que são distribuídas, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Faixas de frequências utilizadas por cada geração



Fonte: SILVA, 2017.

A ANATEL regulamenta o uso do espectro de frequências disponíveis, para que seja evitado o mau uso. E a partir disso cada ERB (Estação Rádio Base) possui as faixas de frequência usadas para a comunicação, e a quantidade de faixas de frequências ou largura é que define a Largura de banda de cada ERB e sua capacidade de tráfego (SANTOS, 2008).

### 2.1.2 Largura de banda

Além da alocação das frequências é necessário também que tenham uma largura adequada para atender a demanda da localidade (SANTOS, 2008). Como exemplo, um canal com largura de banda de 50Hz pode ser implementado nas frequências compreendidas entre 340Hz e 390Hz.

Quanto maior for a largura de banda, maior poderá ser a quantidade de dados transmitidos, porém pode variar a depender do número de usuários que são atendidos naquele local.

### 2.1.3 Transmissão

Para que ocorra uma comunicação de uma ponta a outra, é necessário que as informações sejam transmitidas com a utilização de sinais. A telefonia móvel teve seu início com o uso de sinais analógicos para as transmissões em que se conserva a forma original do sinal sobre a informação transmitida, mas conforme a alta demanda e novos serviços que surgiam, o sinal analógico ficou ineficiente. Surgiram as tecnologias de transmissão de sinal digital onde a forma do sinal transmitido é diferente do sinal original, passando a ser convertidos por um sistema binário.

A transmissão de informação pode ser definida em três modos:

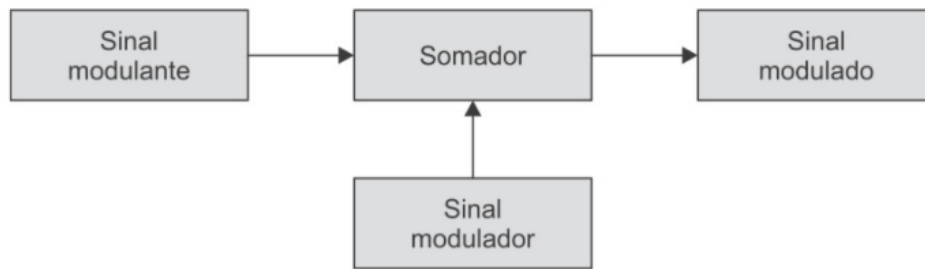
- Simplex: Opera com uma única frequência e apenas a ERB pode transmiti-la (SANTOS, 2008). Onde tem apenas um emissor e um receptor e que só um lado transmite a informação.
- Semi Duplex: Opera em uma única frequência, mas suporta comunicação bidirecional, sendo cada sentido de comunicação operado em um momento. Ou seja, o usuário pode escutar ou falar, mas não os dois ao mesmo tempo. (SANTOS, 2008).
- Full duplex: Cada usuário tem um canal de recepção (enlace direto) e outro canal de transmissão (enlace reverso). É possível, portanto, realizar comunicação em dois sentidos ao mesmo tempo. (SANTOS, 2008).

### 2.1.4 Modulação

A modulação é responsável pela modificação do sinal eletromagnético gerado, antes de ser propagado. A informação é transportada através de uma onda portadora caracterizada pela frequência, amplitude e fase. A informação transmitida é recuperada através da demodulação (SILVA, 2016)

A definição de modulação passa por um conjunto de ações em que é observado com a Figura 3, em que um sinal modulante é somado a um sinal modulador, resultando em um sinal modulado (NETO, 2015).

Figura 3 - Definição de Modulação

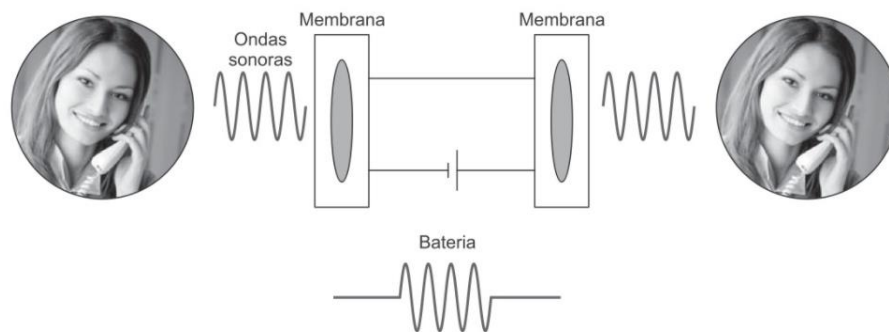


Fonte: NETO,2015.

Vamos tomar como exemplo a Figura 4, que aborda o processo de modulação em um telefone analógico citado por (NETO, 2015), onde se considera o sinal emitido por um ser humano que tem a intenção de passar uma informação; o cérebro cria as regras que irão compor a informação (linguagem utilizada), e com o uso das cordas vocais e um meio de transmissão (ar) é passada a informação que chega até a outra pessoa. A partir do momento que a informação chega à membrana auditiva da pessoa, os sinais sonoros que ela recebe são transformados em sinais elétricos que vão até o cérebro para serem decodificados e entendidos.

Chegamos basicamente na definição da modulação em um telefone analógico.

Figura 4 - Modulação em um telefone analógico



Fonte: NETO,2015.

A função é fazer com que esses sinais passem a ser transmitidos em frequências altas. Segundo (GOMES, 2008) a modulação pode ser dividida em dois tipos: analógica e digital.

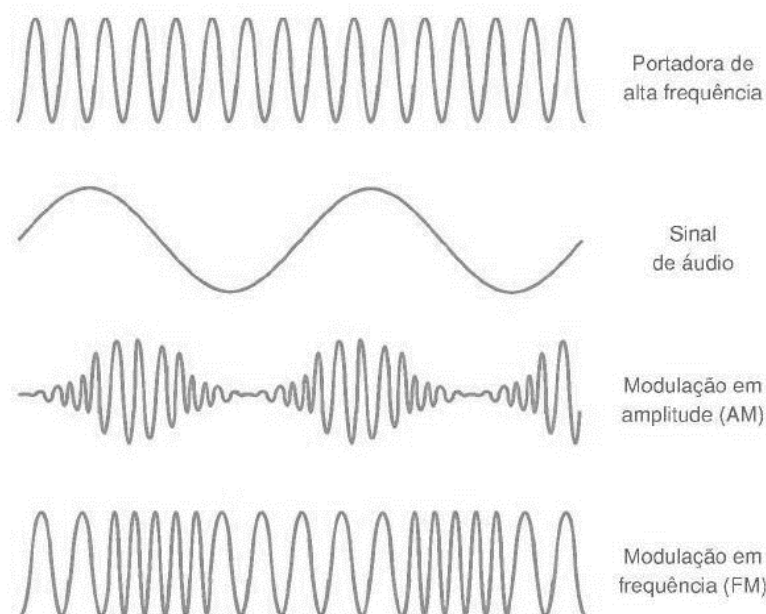
Com sinais analógicos, que são caracterizados por dados contínuos, são usadas as técnicas de:



- Modulação em amplitude (Amplitude Modulation - AM): É variada a amplitude de forma proporcional ao sinal modulante, ou sinal modulador. Os sinais modulantes são compostos por somas de senóides, podendo eventualmente ser uma senoide pura. (CARVALHO, 2014)
- Modulação em frequência (Frequency Modulation - FM): Altera a frequência da portadora de acordo com a informação a ser transmitida. (GOMES,2008)
- Modulação por deslocamento de fase (Phase Modulation - PM): É muito semelhante à modulação em frequência, mesmo porque a frequência de uma senoide corresponde a uma contínua variação do ângulo (ou seja, da fase). (CARVALHO, 2014)

A seguir é mostrado na figura 5, como é o formato de onda de cada uma das técnicas que foram descritas anteriormente:

Figura 5 - Técnicas de modulação do sinal digital



Disponível em: <https://10infrckiko.wordpress.com/2012/10/04/modulacao-em-amplitude-frequencia-e-fase/>

### 2.1.5 Quality Of Service (Qos)

É possível definir QoS com base em (HOSSAIN, 2013) que diz respeito à capacidade de uma rede de alcançar largura de banda máxima e lidar com outros elementos de desempenho de rede, como latência, taxa de erros e tempo de atividade. A qualidade do serviço também tem a capacidade controlar e gerenciar recursos de rede de uma forma mais eficiente para os

diferentes tipos de dados (vídeo, áudio, arquivos) na rede. QoS é aplicado única e exclusivamente ao tráfego de rede gerado para vídeo sob demanda, IPTV (Internet Protocol Television), VoIP, streaming média, videoconferência e jogos online. Com o objetivo de fornecer prioridade para redes, incluindo largura de banda dedicada, jitter controlado e baixa latência.

## **2.2 Primeira Geração 1G**

A primeira geração de tecnologia sem fio começou a ser introduzida no início da década de 80 e ficou em utilização até o surgimento da 2G que a substituiu. Essa geração deu início à rede móvel de telecomunicações e fornecia serviços de voz que usavam transmissão analógica.

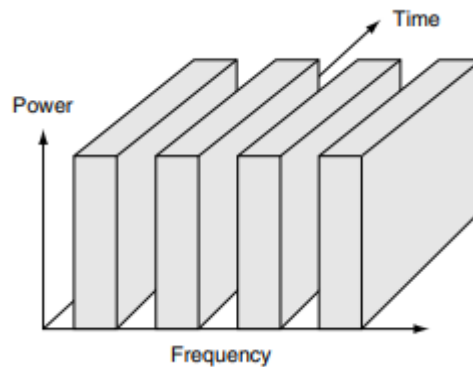
Embora uma grande inovação para época, apresentava problemas e limitações, dentre eles a baixa qualidade nas chamadas de voz, permitia chamadas apenas em um único país sem possibilidade de roaming, tinha baixa confiabilidade de dados e interferências nos sinais.

### **2.2.1 Tecnologias**

#### **2.2.1.1 Frequency Division Multiple Access - FDMA**

É o Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência e pode ser definido segundo (CHEN, 2004) como uma técnica que atribui canais individuais aos usuários. Pode ser visto na figura 6 que a cada usuário é alocado um único canal de frequência e cada canal é atribuído sob demanda para assinantes que solicitam o serviço. Entre o espectro de frequências desse sinal são mantidas bandas de proteção que minimizar a interferência entre os canais. Enquanto estiver em chamada, nenhum outro usuário consegue compartilhar a mesma banda de frequência. Já no modo de duplex de divisão de frequência (Frequency Division Duplex - FDD), os usuários são atribuídos a um canal como um par de frequências e uma frequência é usada para o canal ascendente, enquanto a outra frequência é usada para o canal descendente.

Figura 6 - Estrutura FDMA



Fonte: CHEN, 2004.

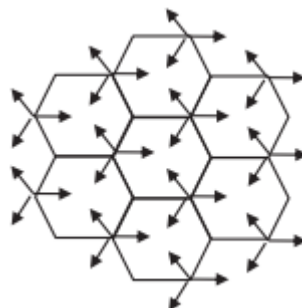
Tradução: Power = Potência; Time = Tempo; Frequency = Frequência.

### 2.2.1.2 AMPS

Conhecido na América do Norte por Advanced Mobile Phone System, usava sinal analógico e a modulação Frequency Division Multiple Access (FDMA).

Segundo (WILSON, 2016) o AMPS tinha a estrutura celular que possibilita a reutilização múltipla de frequências em células diferentes (separadas). Com a separação entre células com o mesmo conjunto de portadoras é possível gerar uma melhoria dos sinais a um nível não interfere entre si. Este sistema faz a reutilização de frequência adicional dentro de uma única célula, e que é chamado de setorização, com antenas direcionais representadas por setas. A Figura 7 mostra a representação deste sistema.

Figura 7 - Estrutura AMPS



Fonte: Wilson, 2016.

## 2.3 Segunda Geração 2G

A tecnologia 2G nasceu devido ao grande crescimento que os telefones celulares começaram a ter no mercado e a limitação que o 1G, de sinal analógico já apresentava. Passou

a ser introduzido no final dos anos 80, além do já conhecido serviço de voz, foi adicionado a possibilidade do uso de serviços de dados em baixa velocidade de transmissão.

De início houve-se uma grande dificuldade de encontrar uma solução de como ampliar o alcance do sinal. Um caminho que foi adotado segundo (CAVALCANTI, 2018), seria conceber um novo sistema que utilizasse o espectro disponível de forma mais eficiente. E assim é que as primeiras atividades para a concepção de um sistema de 2ª geração (2G) se iniciam, na Europa, já em 1982, com a formação de um grupo de estudos denominado GSM (Groupe Speciale Mobile), que mais tarde mudaria a nomenclatura para (Global System for Mobile communication), se tornaria um dos padrões digitais da segunda geração e ficaria conhecido mundialmente.

Com a digitalização do sinal, o 2G passou a ter uma melhoria significativa nas ligações de voz, e trouxe como novidade a possibilidade de envio de mensagens curtas de texto (SMS), o que aqueceu o mercado das operadoras de telefonia móvel que começaram a surgir com mais força.

Além disso a segunda geração é marcada pelos novos padrões digitais GSM e Code Division Multiple Access (*CDMA*) *IS-95A*, e uma evolução do Time Division Multiple Access (*TDMA*) *IS-136* que é baseado na estrutura Advanced Mobile Phone Service (*AMPS*) amplamente utilizada pela primeira geração.

### **2.3.1 Tecnologias**

#### **2.3.1.1 TDMA**

O TDMA foi desenvolvido com base no AMPS utilizado na tecnologia 1G e utilizando a mesma banda de frequência de 800MHz, porém marcando como evolução do sinal analógico para o sinal digital considerado como a primeira tecnologia implementada na segunda geração.

Esta tecnologia tem a função de diminuir problemas com interferências, devido a melhora do seu espectro de frequência em que reserva um dos seus seis intervalos de tempo para tratar das interferências. Além de triplicar cada canal analógico em canais digitais, aumentando a sua capacidade. Como resultado disso ao que (SILVA,2016) evidência, gera a possibilidade da realização de três chamadas simultâneas utilizando o mesmo canal e que permite ao usuário acesso ao seu próprio canal de frequência.

### 2.3.1.2 CDMA

O CDMA *IS-95* segundo (TAKEDA,2013) pode ser definido como uma técnica baseada na “propagação” do espectro, isso permite que a capacidade do espectro aumente possibilitando que todos os canais de frequências sejam usados pelos usuários ao mesmo tempo. Para que não haja interferências e nem perdas de dados entre a origem e destino, cada transmissão recebe um código específico que a diferencia das demais.

Graças ao uso do código específico para cada usuário, o receptor só se preocupa em receber os dados que vierem com a identificação esperada, caso contrário é ignorado. Isto ajuda na diminuição de interferências entre os canais e os mesmos são mais bem aproveitados.

### 2.3.1.3 GSM

O GSM foi responsável por garantir uma melhora na segurança, a partir do uso da criptografia e introdução dos cartões SIM (Subscriber Identity Module), que serviam como identificadores do assinante e disponibilizavam o acesso aos serviços. Isso teve uma vantagem com relação a antiga tecnologia, pois o equipamento móvel passou a ter uma identificação IMEI (International Mobile Equipment) e o cartão SIM.

Segundo (TAKEDA, 2013) GSM digitaliza e comprime dados de voz, e então envia para um canal com mais dois outros fluxos de dados de usuários, cada um no seu intervalo de tempo e opera tanto nas bandas de frequências de 900MHz, 1800 MHz ou 1900MHz. Sendo que de acordo com a faixa de operação o padrão GSM sofria algumas variações.

Este padrão tem sua arquitetura composta por diversos elementos (Figura 8), dentre os principais pode-se citar:

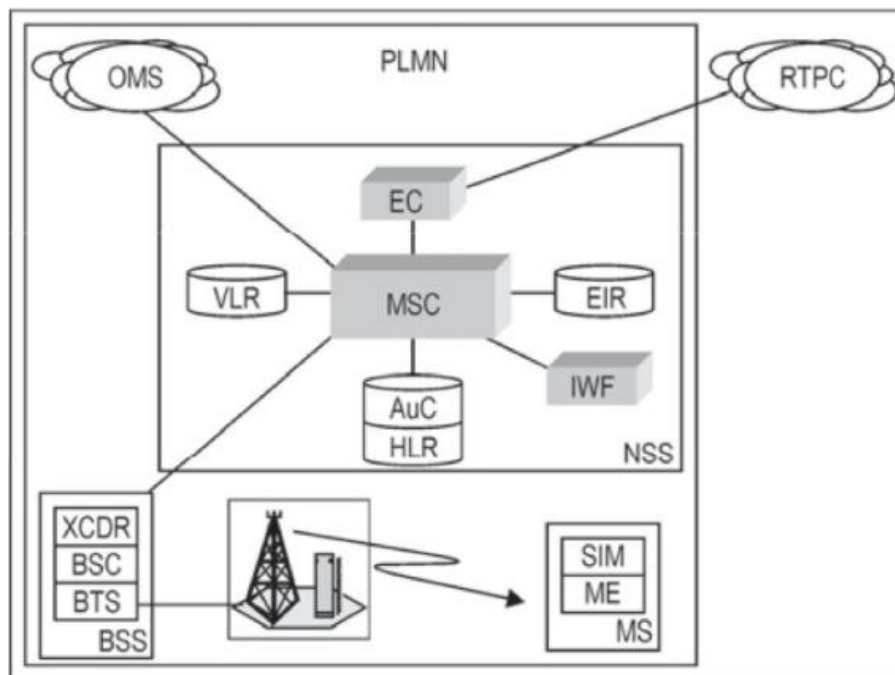
- Mobile Station (MS): São os próprios aparelhos de telefonia celular. Possuem uma antena, capaz de modular os demodular o sinal. Precisa também de osciladores que possam gerar os sinais nas frequências determinadas. (SANTOS, 2008);
- Subscriber Identity Module (SIM): Esse módulo consiste em um cartão inteligente (smart card) que carrega informações essenciais para a identificação do assinante. Geralmente é um chip que se conecta ao telefone celular. (SANTOS, 2008);
- Base Station Controller (BSC): É responsável por controlar um grupo de estações transceptoras base (BTSs). Todas as operações de uma BTS são comandadas pelo respectivo BSC. (SANTOS, 2008);

- Network Switching System (NSS): A parte responsável pela interconexão da rede GSM com a Rede Pública de Telefonia Comutada (RTPC), pelo gerenciamento da base de dados e pelo processamento das informações através das interfaces. (SVERZUT, 2016);
- Mobile services Switching Center (MSC): É o elemento central do sistema de comutação de rede. (SVERZUT, 2016);
- Home Location Register (HLR): É responsável pela administração e controle da base de dados dos assinantes locais. O HLR administra e controla a base de dados de todos os assinantes habilitados em uma rede GSM. (SVERZUT, 2016);
- Visitor Location Register (VLR): O registro de localização de visitante mantém informações sobre os assinantes visitantes que estiverem conectados à rede durante determinado tempo. (PIROTTI, 2009);
- Authentication Center (AuC): Responsável pelas funções de autenticação e criptografia. Essas funções são processos realizados, simultaneamente, no AuC e na MS, com o objetivo de prover segurança ao sistema, evitando, por exemplo, a clonagem de MSs. (SVERZUT, 2016);
- Equipment Identity Register (EIR): É a base de dados onde fica localizado o IMEI e pode ser de três tipos. A chamada “lista branca”, contendo todos os IMEIs e MSs que podem fazer uso do sistema, a “lista negra” onde seus usuários não podem usar o sistema por motivos de roubo de MS, por exemplo. E por fim, a “lista cinza” onde consta os usuários com pendências. (PIROTTI, 2009);
- Base Station Transceiver (BTS): A estação transceptora base provê as conexões na interface de Rádio Frequency com a MS. Basicamente, os elementos que formam a BTS são hardware de radiofrequência e antenas. A BTS sempre está interligada ao BSC, e ambos realizam as funções de gerência dos canais de tráfego e controle na interface de RF. (SVERZUT, 2016);

- Operations and Maintenance System (OMS): Responsável pela administração, operação e manutenção dos grupos de componentes. (SVERZUT, 2016);
- Public Switched Telephone Network (PSTN): A rede pública de telefonia comutada faz a identificação da rede telefônica designada ao serviço telefônico. Inicialmente era uma rede de linhas fixas e analógicas. Agora é digital e inclui serviços de telefonia móvel. (SILVA, 2016).

Na figura 8 temos a estrutura do GSM com os componentes que foram definidos nos itens anteriores.

Figura 8 - Estrutura GSM



Fonte: PIROTTI, 2009.

## 2.4 Terceira Geração 3G

Com o mundo em constante evolução e o tempo passando, surgiram novas necessidades para os seres humanos. Com a implantação do 2G, logo veio o desejo de utilizar-se em seu aparelho celular uma alta velocidade de acesso à internet, em comparação a sua antecessora. Essa evolução para a terceira geração trouxe consigo diversos benefícios, sendo eles a possibilidade de envio de imagens, videoconferência e a viabilização de lojas de aplicativos.

A terceira geração tem como padrões mais importantes o WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), também denominado de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) e o CDMA2000 (TAKEDA, 2013).

Os dois padrões em questão apresentam características em comum, sendo elas:

- Fornecimento de serviços de multitaxa de transmissão;
- Propagação complexa;
- Serviço com pacotes de dados;
- Detecção multiusuário.

## **2.4.1 Tecnologia e Arquitetura**

### **2.4.1.1 UMTS**

O UMTS se trata de um padrão de interface de rádio, o qual foi padronizado pela ITU (Internacional Technology Union). Utilizando como método de múltiplo acesso o Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA), onde diversos terminais compartilham a mesma banda de frequência, porém utilizando códigos diferentes ao longo do espectro. (TAKEDA, 2013).

Uma de suas distinções importantes dos outros padrões 3G é que sua largura de banda é de no mínimo 5MHz, esta largura foi escolhida devido a possibilidade de fornecer uma taxa de transmissão de dados de 144 e 384 kbps e até 2Mbps em condições favoráveis. Largura de bandas são sempre carentes, sendo necessária a utilização da menor alocação possível. Um outro fator que fez com que fosse escolhida essa faixa de largura de banda, foi a possibilidade de suportar algo entre 100 e 350 chamadas de voz simultâneas, a depender da divisão da antena em setores, condições de propagação, velocidade do usuário e polarização da antena (TAKEDA, 2013).

Este padrão tem dois modos de operação, que são caracterizados pelo método duplex sendo eles: FDD (Frequency Division Duplex) e TDD (Time Division Duplex). Esses modos de operação possuem características distintas quanto a faixa ou banda alocada no espectro de frequência. Para o modo FDD, são reservadas duas faixas de frequência diferentes, uma para o enlace direto e outra para o reverso, já para o TDD os enlaces utilizam a mesma faixa de frequência. A Tabela 1, mostra os principais parâmetros para o padrão UMTS (SVERZUT, 2016).



Tabela 1 - Principais parâmetros

Parâmetro	Características
Largura do Canal	5 MHz
Modo Duplex	FDD ou TDD
Estrutura do canal de RF	Direct Spread (DS)
Taxa de chips	3,84 Mchips/s (Mcps)
Comprimento do quadro	10ms
Modulação	QPSK

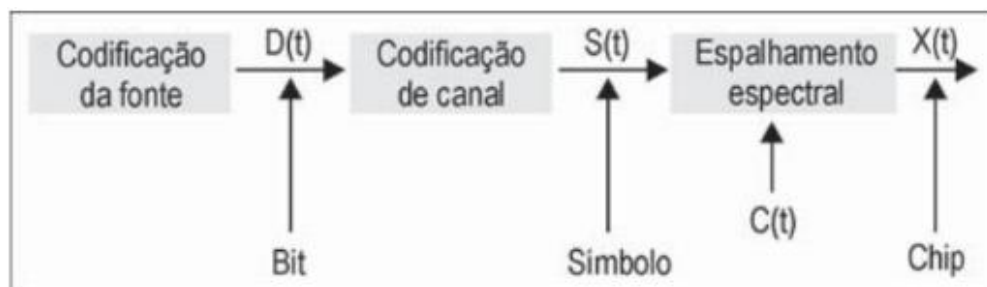
Fonte: SVERZUT, 2016

### 2.4.1.2 DS-CDMA

O DS-CDMA, é a técnica utilizada pelo UMTS, que será descrita a seguir. Esta técnica é utilizada por permitir a exploração das regiões com baixa relação S/R (sinal/ruído).

Sendo descrita como técnica de DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), sua funcionalidade consiste em três processos principais, os quais possuem o objetivo de codificar o sinal de origem para distintas finalidades. A Figura 9, mostra o processo DSSS.

Figura 9 - Técnica de espalhamento espectral



Fonte: SVERZUT, 2016.

O processo de codificação da fonte, consiste na conversão do sinal em códigos binários, resultando assim  $D(t)$ , fazendo com que o receptor possa reconstruir a informação original. Vale salientar que em um processo de codificação independente da fonte, o sinal  $D(t)$  sempre terá uma taxa de bits específica.

A partir disso, ocorrerá a codificação de canal, que tem por objetivo fazer a adaptação do sinal digital, capacitando assim a transmissão pelo canal. Tem em sua formação duas funções, sendo codificação convolucional e embaralhada. Onde, após este processo resultará em  $S(t)$ , com isso  $S(t)$  é dado para diferenciar o sinal gerado pelo processo de codificação de canal e codificação da fonte.

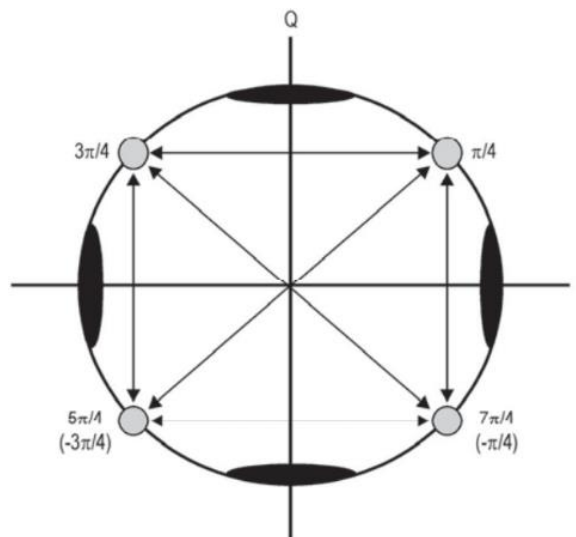
Após a obtenção dos sinais  $D(t)$  e  $S(t)$ , é chegada a etapa do espalhamento espectral, onde consiste na utilização de um código  $C(t)$ , que é utilizado na multiplicação do sinal  $S(t)$ . Cada  $C(t)$  utilizado na multiplicação é único e somente o receptor possui a informação apropriada para que seja decifrado código e seja reconstruído o sinal original, isso possibilita que mais de um sinal  $S(t)$  seja transmitido, tendo em vista que para o receptor só irão importar os que possuem a sinalização compatível. Com a finalização deste processo, é obtido um sinal  $X(t)$ , o qual será transmitido pelo transmissor, por meio da interface RF. Sendo este os processos que um transmissor deve atender (SVERZUT, 2016).

A implementação da interface RF, é feita por meio de transmissores e receptores que fazem a utilização da modulação QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) e QAM (Quadrature Amplitude Modulation) (SVERZUT, 2016).

### 2.4.1.3 Modulação QPSK

A modulação utilizada pelo UMTS, é a modulação QPSK. Neste tipo de modulação, a fase do sinal será modulada variando  $90^\circ$  a cada  $\pi/4$ . Vale salientar que existem outros esquemáticos para esse mapeamento. A figura 10, mostra como ocorre esta modulação (SVERZUT, 2016).

Figura 10 - Exemplo de modulação QPSK.



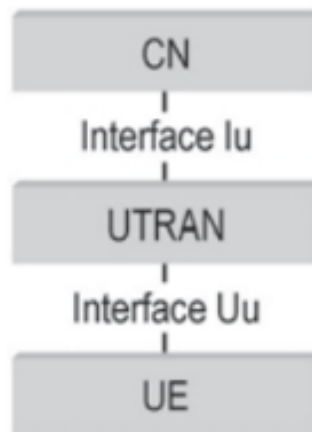
Fonte: SVERZUT, 2016.

### 2.4.1.4 Arquitetura da rede UMTS

A arquitetura da rede UMTS é constituída pelos seguintes elementos: UE (User Equipment), CN (Core Network) e UTRAN (Universal Terrestrial Radio Acces Network). A

figura 11, mostra como é constituída a arquitetura UMTS, tendo em sua composição as interfaces Iu e Uu, que serão mais bem definidas no item a seguir, sendo responsáveis pelo transporte de protocolos que são divididos em duas estruturas. Os protocolos do plano de usuário, que implementam os serviços de acesso à interface RF e os protocolos do plano de controle, que realizam o controle da interface de RF e as conexões entre UE e rede (SVERZUT, 2016). A figura a seguir ilustra as camadas de uma rede UMTS.

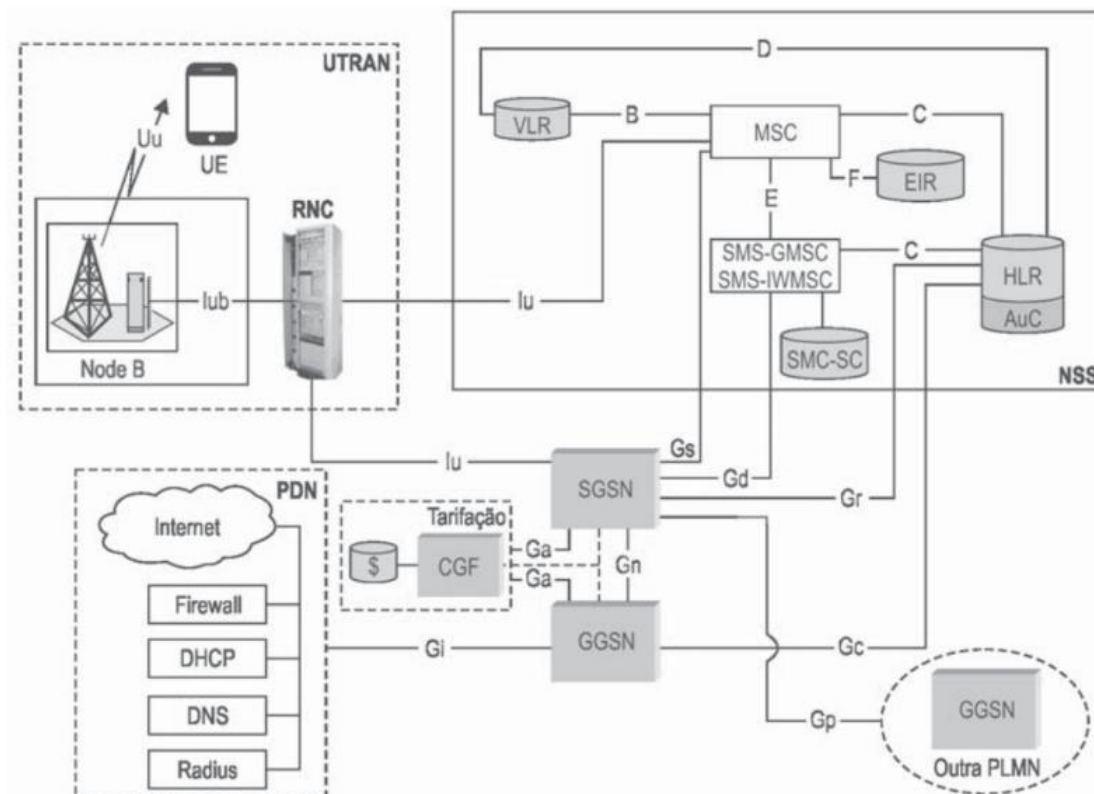
Figura 11 - Arquitetura UMTS



Fonte: SVERZUT, 2016.

A migração da tecnologia 2G e 3G pode ser considerada simples, tendo em vista que a arquitetura UMTS utiliza o mesmo CN que foram implementados nas redes GPRS e EDGE. Pode-se dizer que a maior diferença entre as redes 2G e 3G está em suas interfaces e protocolos, que implementam a interface de RF (SVERZUT, 2016). Na figura 12, é possível observar a arquitetura de rede UMTS, onde são ilustrados seus elementos, tais quais fazem parte da rede UTRAN e serão descritos ao decorrer do tópico, sendo os demais itens já expostos no tópico 2.3.

Figura 12 - Arquitetura de rede UMTS



Fonte: SVERZUT, 2016.

#### 2.4.1.4.1 UE

O UE é composto pelo elemento ME (Mobile Equipment), que é responsável pela conexão do assinante, usuário, a rede e pelo elemento USIM (User Services Identity Module), que se trata da parte responsável pela identificação do serviço do usuário (CARDOSO, 2008).

Estes elementos compõem a parte de “entrada” de uma rede UMTS, onde conforme falado anteriormente, cada elemento exerce seu papel.

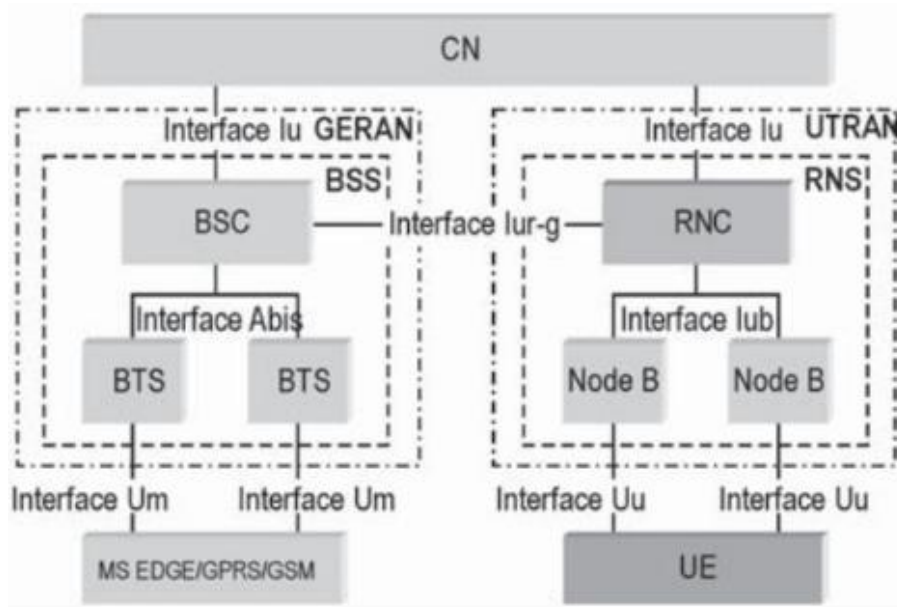
A seguir, serão abordados pontos a respeito da arquitetura UTRAN.

#### 2.4.1.4.2 UTRAN

É constituída por um conjunto de subsistemas de RNS (Radio Network Subsystem), que é conectado ao CN por meio da interface Iu. O subsistema RNS é formado pelos elementos de rede RNC (Radio Network Controller) e o Node B. Este subsistema, possibilita a conexão à o BSS (Base Station System) da rede GERAN (GSM EDEGE Radio Access Network) que suporta o modo Iu, por meio da interface Iur-g. Com essa configuração é possível a compatibilidade entre as redes 3G (UMTS), 2.75 (EDGE), 2.5 (GPRS) e 2G (GMS)

(SVERZUT, 2016). Como pode-se observar na Figura 13, onde a interface Iur-g faz a conexão entre o BSC e o RNC.

Figura 13 - Conexão modo Iu entra UTRAN e GERAN



Fonte: SVERZUT, 2016.

#### 2.4.1.4.3 RNC

O RNC, é responsável pela conexão da interface RF ao CN. Tendo como principais funções o gerenciamento dos recursos RF, gerenciamento dos nós B, a localização do UE e o gerenciamento de mobilidade (SVERZUT, 2016).

#### 2.4.1.4.4 Nó B

Este elemento é responsável pela interconexão da interface RF com a infraestrutura celular, tendo como responsabilidades o controle dos sinais RF, o espalhamento espectral dos códigos WCDMA, quando tratado WCDMA diz respeito ao UMTS, o controle dos canais físicos e o mapeamento dos canais físicos na portadora de RF. Na possibilidade de um grande número de células no nó B, se tem a necessidade da implantação de um SHC (Softer Handover Controller), tendo sua conexão feita pela Iu (SVERZUT, 2016).

#### 2.4.1.4.5 Interface Iu

A interface Iu tem como objetivo a interconexão do subsistema RNS com os pontos de acesso à rede CNN dentro de uma única PLMN (Public Land Mobile Network) independente

dos fabricantes dos elementos de rede, suporte a todos os serviços UMTS, permitir a integração a rede GMS e permitir a evolução tecnológica entre as redes CN, RNS e de transporte (SVERZUT, 2016).

#### **2.4.1.4.6 Interface Iur**

A Iur, possibilita a troca de informação de sinalização entre duas redes RNCs que estão dentro de uma mesma UTRAN. Sendo seus principais objetivos suportar a interconexão de subsistemas RNC de fabricantes distintos; suportar os serviços oferecidos pelo subsistema RNS e UTRAN via interface Iu e separar as funcionalidades entre as redes RF e transporte para simplificar a implantação de novas tecnologias.

Vale salientar que, a conexão das redes legadas com a rede UMTS, é possibilitada por meio da interface Iur-g, que com isso busca trazer uma interconexão com redes que antecederam a UMTS (SVERZUT, 2016).

CN (Core Network) trata-se do núcleo da rede, tendo sua composição descrita no item 2.3.1.3 deste documento.

#### **2.4.1.5 CDMA**

##### **2.4.1.5.1 CDMA2000**

O CDMA2000 foi desenvolvido pela 3GPP2 (Third Generations Partnership Project 2) sendo a primeira tecnologia firmada no mundo pela International Mobile Telecommunications – 200 (IMT-2000). Este padrão possibilita a introdução de novas capacidades de acesso à internet com alta taxa de dados, utilizando sistemas existentes (SILVA, 2016).

##### **2.4.1.5.2 CDMA2000 1XRTT**

O CDMA2000 1XRTT, sendo 1XRTT igual a uma vez a largura do canal, esta interface faz o uso de um canal de rádio de 1,25 MHz. Esta interface comporta até o dobro de usuário de voz do padrão CDMA, tem taxas de até 307 kbps para um usuário e possui uma maior duração de bateria.

##### **2.4.1.5.3 CDMA2000 1xEV**

Esta interface traz como possibilidade para as portadoras de CDMA duas opções, sendo elas o CDMA2000 1xEV-DO que possui canais de rádio somente para dados, e o CDMA2000 1xEV-DV onde utiliza canais de dados e voz (TAKEDA,2013).

#### **2.4.1.6 HSPA**

O HSPA (High Speed Packet Access), também conhecido como 3.5G, é tido como uma evolução da tecnologia UMTS. Traz consigo melhorias na transmissão de dados e velocidade de acesso, também trazendo o aumento da capacidade. Para este upgrade, não é necessário realizar ajustes na rede central, a realização de melhoria na infraestrutura para aguentar o aumento no fluxo de dados, já é suficiente (GUEDES, 2009).

Pode-se dizer que o HSPA é a unificação de duas melhorias na taxa de download (HSDPA – High Speed Downlink Packet access) e na taxa de upload (HSUPA – High Speed Uplink Packet access). O HSDPA foi especificado pelo Release 5 do 3GPP (Third Generations Partnership Project), já o HSUPA pelo Release 6 (GUEDES, 2009).

#### **2.4.1.7 HSDPA**

Com esse sistema a taxa de download chega a atingir velocidades de até 14,4 Mbs/s, sendo constituído pelas medidas expostas a seguir:

##### ➤ **Transmission Time Interval – TTI**

O TTI, trouxe consigo a diminuição para 2ms, o que viabilizou o aumento da detecção de variações na rede, diminuindo também o tempo de latência e de round-trip. Do lado do usuário isso se traduz em tempo de resposta menores e alocação de recursos mais instantâneos (GUEDES, 2009).

##### ➤ **High Speed Downlink Shared Channel – HS-DSCH**

O High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) se trata de um canal compartilhado, onde possui uma codificação em fator de separação de 16, onde até 15 destes códigos podem ser alocados para HSDPA. Com isso se tem o cenário de que a banda pode ser alocada para somente um único usuário como pode ser dividida entre diversos usuários, onde receberão dados simultaneamente. Após a decisão de quais usuários irão receber pacotes no próximo TTI, também é decidido qual código de canalização cada usuário utilizará. Os usuários têm seu código definido individualmente pelo nó-B (Base transceiver Station, BTS, também denominado como node-B), tendo esse código, ele será utilizado para possibilitar que o usuário extraia sua mensagem. (GUEDES, 2009).

Para o HSDPA não existe um controle de potência, sendo assim o canal HS-DSCH é transmitido sem alteração de frequência. Tendo como diferencial a codificação e o número de códigos, para adaptar-se às condições de rádio. (GUEDES, 2009).

O HS-DCH é agregado em conjunto a outros 3 canais, sendo eles: High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH), High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH) e o High Speed-Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH), sendo todos canais físicos. (GUEDES, 2009).

São enviados pelo HS-SCCH, sinais de controle conforme o HS-DSCH, que para melhoria da sincronização, avisa que dados serão enviados 2 frames a seguir. O HS-DPCCH transfere informações a respeito da qualidade do sinal do usuário e o HS-PDSCH carrega os dados do usuário mapeados pelo HS-DSCH. (GUEDES, 2009).

➤ **Fast Scheduling**

Realiza a adaptação da rede de acordo com as variações da qualidade e disponibilidade dos sinais oferecidos. Tendo isso em mente, pode-se dizer que cada usuário está constantemente mandando informações a respeito de qualidade do serviço para o nó-B e com base nestas informações, o nó-B decide quanto de informação será destinado para o usuário no próximo TTI. (GUEDES, 2009).

➤ **Adaptative Code Modulating – ACM**

Também focado na adaptação da rede conforme a variação da qualidade do sinal de cada usuário. Que a partir destas informações a modulação poderá passar de QPSK para 16-QAM o que possibilita que as taxas de transmissão possam dobrar. (GUEDES, 2009).

➤ **Hybrid Automatic Retransmission reQuest (HARQ)**

HARQ se trata de uma arquitetura, que realiza a retransmissão de pacotes com erros em até 10 ms. Com isso, os usuários que recebem pacotes com erro, são salvos e depois faz a combinação com sua retransmissão. Com esse modelo, mesmo retransmissões com erros, ao serem combinadas, podem gerar pacotes sem erros (GUEDES, 2009).



#### **2.4.1.8 HSUPA**

O HSUPA tem como premissa melhorar a taxa de uplink. Trazendo consigo as seguintes melhorias: retransmissão mais rápida graças à implementação do HARQ, TTI de 2ms, fast scheduling de pacotes e canal dedicado (SILVA, 2016).

Para o HSUPA o Fast Scheduling tem um funcionamento diferente do que diz respeito ao download. Neste cenário o usuário realiza um pedido de transmissão, e o escalonador irá decidir quem envia e o quanto cada um envia. Também como um diferencial, o HSUPA também realiza transmissões não escalonadas. Isso faz com que as transmissões sejam mais bem adaptadas a dados sensíveis a atrasos, como VoIP e videoconferência. Com o HSUPA, as taxas de upload conseguem atingir níveis de até 5,76 Mbs/s (GUEDES, 2009).

#### **2.4.1.9 HSPA+**

O HSPA+ (HSPA Evolution) trata-se de uma evolução do HSPA, onde tem por objetivo empregar um melhor desempenho dos sistemas baseados no CDMA. Com este padrão foi possível alcançar taxas de dados, teóricas, de 168 Mbps no downlink e 22 Mbps no uplink, esta evolução também trouxe consigo a utilização de técnicas de múltiplas antenas, MIMO, que são mais bem descritas no item 2.5.4.4, foram aplicadas técnicas de MIMO 2x2, onde se tem duas antenas como transmissor e duas como receptor, com portadora de 5MHz e também modulação de 64 QAM para downlink de 16 QAM uplink (VINHAL, 2020), as modulações QAM tem seu descritivo mais bem detalhado no item 2.5.4.3.1. O HSPA+ ainda reduz a latência para valores inferiores a 25 ms. (MOTA, 2009).

A evolução das tecnologias móveis foi realizada de forma gradual, onde sempre se buscava uma otimização dos recursos disponíveis para utilização, na tecnologia 3G observa-se que estas evoluções proporcionam diversos benefícios, dentre eles o aumento da taxa de transmissão de downlink e uplink, também a redução da latência, e um maior atendimento ao usuário. Além disto, a tecnologia HSPA+ trouxe consigo a implementação de técnicas que posteriormente são utilizadas no LTE (Long Term Evolution) e seus sucessores, como o exemplo da técnica de múltiplas antenas e a modulação em alta ordem.

## **2.5 Quarta Geração 4G**

### **2.5.1 Definição 4G**

É possível observar novamente que a evolução dos sistemas de comunicações está em constante mudança. Com a tecnologia 3G estabelecida já era pensado na sua sucessora, as redes 4G. Que tem por objetivo trazer uma maior taxa de transmissão de Downlink e Uplink, menor latência e reduzir o custo por bit transmitido.

Além de suas vantagens já citadas, a quarta geração traz consigo outras características, como a utilização do protocolo IP (Internet Protocol), que possibilita a introdução de técnicas de segurança que não eram possíveis de ocorrer em gerações anteriores, além de permitir que diversos usuários façam acesso à internet, possibilitando a realização de chamadas de qualidade elevada, por meio de VoIP (SILVA, 2016).

Com os padrões estabelecidos, a ITU reconheceu dois padrões para o 4G, sendo eles desenvolvidos por dois grupos, 3GPP e IEEE. Estes padrões são o LTE (Long Term Evolution), LTE-Advanced e WiMAX-Advanced.

A seguir serão expostos conceitos a respeito dos padrões aceitos pela ITU, começando pelo LTE, dando foco ao LTE e sua evolução. Levando como base a análise realizada por (IGLESIAS, 2014), o LTE terá seus parâmetros técnicos mais destacados, por ser o modelo adotado para o Brasil.

### **2.5.2 O LTE**

Este padrão faz a utilização de acesso múltiplo OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) o qual disponibiliza uma plataforma de banda larga móvel suportada por um novo núcleo de rede desenvolvido pela 3GPP em sua release 8, provendo também a continuidade dos serviços com redes legadas. Tendo consigo uma alta eficiência espectral e altas taxas de transferência de dados, incorporando a técnica de múltiplas antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output). Fazendo com que sua interface RF possa operar em diversas larguras de banda, incluindo 1,25 MHz; 2,5 MHz, 5MHz, 10 MHz, 15 MHz e 20 MHz (SVERZUT, 2016).

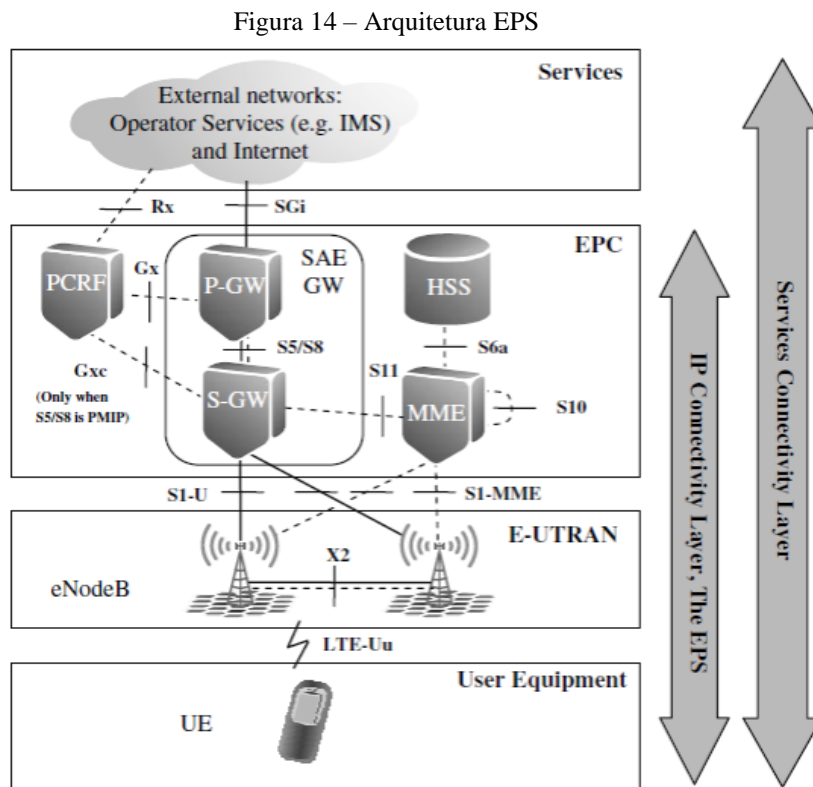
Tendo uma utilização mais eficiente do uso do espectro, isso possibilita que sejam suportados uma maior quantidade de usuários dentro do espectro disponível, trazendo consigo também uma resistência maior a interferências. O LTE também apresenta uma maior abrangência, onde é possível se ter um serviço eficaz em células com raio de até 30 Km, tendo um serviço não tão eficiente em células com tamanho de raio de até 100 km. Um outro fator a

se destacar é que devido às técnicas empregadas no enlace direto e enlace reverso, DL (Downlink) e UL (Uplink), respectivamente, o tempo de resposta, que pode ser denominado de latência é reduzido em comparação a seus antecessores, sendo por volta de 10ms (NIKOLOFSKI, 2011).

### 2.5.3 Tecnologias e Arquitetura

A organização 3GPP denominou a arquitetura desenvolvida como EPS (Evolved Packet System), sendo constituída por duas redes, a E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Acces Network) e pela EPC (Evolved Packet Core), sendo o E-UTRAN uma rede de acesso sem fio enquanto o EPC uma rede de suporte. O EPC é inteiramente baseado na arquitetura IP e responsável pela interação com as redes GSM e WCDMA/HSPA legadas. A figura 14 ilustra uma arquitetura EPS.

Nesta arquitetura de rede, não se tem um controlador inteligente, tendo seus eNodeB (E-UTRAN NodeB) conectados por meio da interface X2. Sua conexão com a rede central é feita a partir da interface S1. O intuito com essa distribuição de inteligência, é fazer com que as configurações das conexões sejam feitas de forma mais rápida (SVERZUT, 2016). As interfaces X2 e S1 terão suas funcionalidades descritas no decorrer do item a seguir.

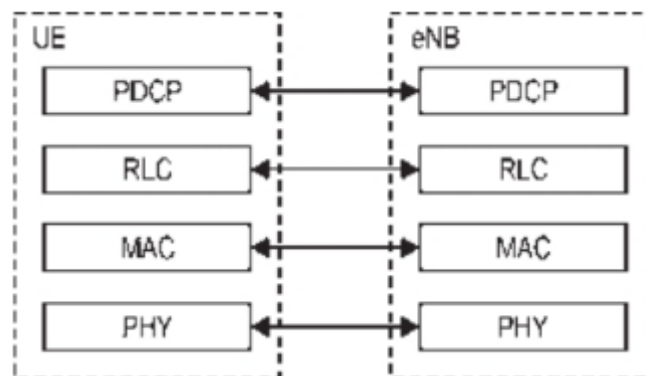


Fonte: GONÇALVES, 2011.

### 2.5.3.1 E-UTRAN

Esta arquitetura é formada pelo elemento eNodeB. O eNodeB, que designa os protocolos vinculados aos planos de usuários, possuindo também o controle por meio da interface de radiofrequência juntamente com o elemento de rede UE (User Equipment). O plano de usuário exerce as funções da segunda camada, entre os elementos UE e eNB, como mostrado na figura 15, as camadas do plano de usuário tendo em sua composição os protocolos PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control) e MAC (Medium Access Control). (SVERZUT, 2016).

Figura 15 - Camadas do plano de usuários

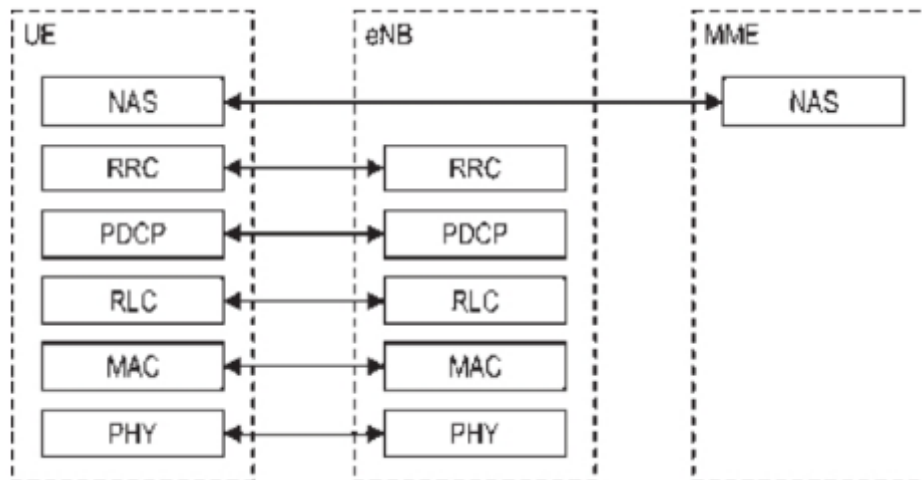


Fonte: SVERZUT, 2016.

O plano de usuário tem como principais funções o mapeamento dos canais lógicos nos canais de transporte; multiplexação e demultiplexação de PDU (Protocol Data Unit) RLC (Radio Link Control); correção de erros; segmentação dos pacotes SDU (Service Data Unit) em PDU (Protocol Data Unit); detecção de pacotes repetidos; descarte de SDU; criptografia e proteção do pacote; broadcast de informações de sistema relacionadas a camada de ingresso NAS (Non-Access Stratum); controle de funções de mobilidade e o controle de funções de QoS. O plano de controle tem a mesma função do plano de usuário, seu diferencial é a inclusão dos protocolos RRC (Radio Resource Control) e NAS (SVERZUT, 2016).

O papel do protocolo RRC é o estabelecimento, manutenção e liberação de conexões junto a RF na rede E-UTRAN, já o protocolo NAS possibilita a comunicação entre os elementos de rede UE e MME (Mobility Management Entity), tendo como responsabilidades gerenciar o transporte de chamadas de voz e conexões de dados na arquitetura EPS; autenticação e controle de segurança (SVERZUT, 2016). Pode ser observado o descritivo, na figura 19.

Figura 16 – Camadas do plano de Usuário



Fonte: SVERZUT, 2016.

#### 2.5.3.1.1 eNB (E-UTRAN NodeB)

O eNB é responsável pelo controle da interface RF entre a rede LTE e o UE (SVERZUT, 2016). Suas funções são:

- Gerenciar os recursos de RRM (Radio Resources Management), controlar a admissão, controlar a mobilidade e alocar dinamicamente recursos para os equipamentos UE nos enlaces direto e reverso;
- Realizar a compressão e encriptação do cabeçalho IP;
- Fazer a alocação do MME ao UE;
- Encaminhamento das informações do plano de usuário por meio do S-GW (Serving Gateway);
- Transmissão e agendamento das mensagens de busca;
- Transmissão e agendamento da informação broadcast;
- Execução de medidas e configuração de relatórios de medidas para agendamento e mobilidade.

#### 2.5.3.1.2 Interfaces S1 e X2

Estas interfaces são responsáveis pela conexão entre os elementos presentes na arquitetura E-UTRAN (SVERZUT, 2016).

A S1, realiza a interconexão entre os elementos eNBs a o EPC, de forma mais direta ao elemento MME e ao S-GW, conforme figura 14. Dando suporte às transações feitas entre os elementos MMEs, S-GW e e-NB, tendo como papel as seguintes funções:

- Manutenção, estabelecimento e liberação de chamadas de voz ou sessão de dados;
- Handover entre rede LTE;
- Roaming automático;
- Balanceamento de tráfego entre os MMEs.

Já a interface X2 que interconecta os eNBs, possui as seguintes atribuições:

- PDU (Protocol Data Unit);
- Fazer o cancelamento de handover;
- Tratar mensagens de controle entre origem e destino entre o eNodeB.

### 2.5.3.2 EPC (Evolved Packet Core)

O EPC é o núcleo de rede do padrão LTE que é baseado na arquitetura IP sendo redes NGMN (Next Generation Mobile Network) (SVERZUT, 2016).

As redes NGMN, tem como intuito realizar o transporte de pacotes de voz, dados, SMS e vídeo mediados por IP, onde são endereçados conforme o tipo de serviço e tem seu transporte realizado conforme QoS requerida pelo usuário. Para que seja possível a realização de todo o serviço, a rede NGMN é implementada por um subsistema da rede IP, denominado de IMS (IP Multimedia Subsystem), este subsistema permite que uma rede de telecomunicações possa suportar e oferecer serviços de multimídia e transporte de VoIP (SVERZUT, 2016). Os elementos do núcleo de rede EPC serão descritos a seguir.

- **MME (Mobility Management Entity)**

O MME pode ser considerado como a inteligência da arquitetura LTE, sendo responsável pelo controle dos elementos eNodeB (SVERZUT, 2016). Tendo como principais atribuições:

- Sinalização da camada de ingresso (Non-Access Stratum);
- Segurança da sinalização NAS;
- Controle de segurança da camada de egresso;
- Sinalização que capacita a mobilidade entre CN;
- Seleção do S-GW;
- Seleção do MME correto para executar o procedimento handover entre MMEs;
- Seleção de elemento de rede SGSN para handover entre as redes 2G e 3G;
- Roaming automático.

- **S-GW (Serving-GateWay)**

Pode-se definir como suas atribuições segundo (SVERZUT, 2016), as tarefas que dizem respeito à mobilidade entre as redes e pelos processos de tarifação. As principais funções deste elemento são:

- Handover entre elementos de rede eNodeB;
- Interceptação legal de chamadas;
- Roteamento e envio de pacotes;
- Marcação de pacotes no nível de transporte em ambos em enlaces, direto e reverso;
- Cobrança de chamadas de voz ou sessão de dados nos enlaces.

- **P-GW (Packet Data Network GateWay)**

O P-GW, realiza a conectividade entre a rede E-UTRAN e as redes externas. Tendo suas principais funções definidas por (SVERZUT, 2016) sendo:

- Alocação de endereço IP para cada UE;
- Implementação de políticas de tráfego;
- Filtragem de pacotes por usuário;
- Tarifação;
- Espalhamento de tráfego;
- Mediador de mobilidade entre redes legadas e o 4G.

- **PCRF (Policy and Charging Resource Function)**

O elemento PCRF, é responsável pela política de tarifação, pelo fornecimento de acesso, recursos e a qualidade de serviço (QoS) (GONÇALVES, 2011). Garantindo também que o perfil do usuário está sendo atendido pelo devido fluxo de dados (SOUZA, 2012).

- **HSS (Home Subscriber Server)**

Este elemento exerce a função de um banco de dados do usuário (GONÇALVES, 2011).

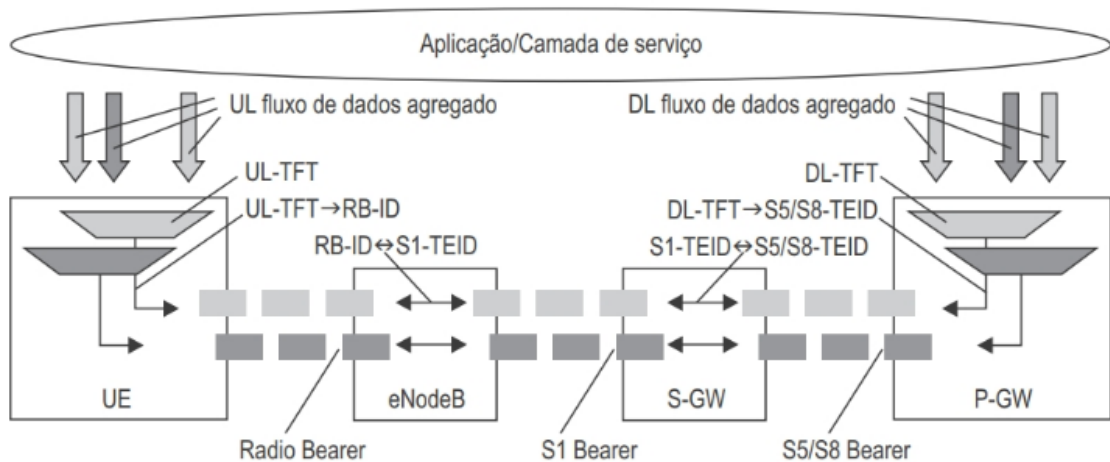
### 2.5.3.3 Qualidade de Serviço - QoS

O funcionamento do QoS em redes LTE, para que seja claro seu funcionamento, deve-se compreender brevemente o funcionamento do EPS (Evolved Packet System). O EPS é composto por um fluxo de pacotes unicamente identificados que recebem um tratamento igual de QoS entre o UE e o P-GW (SOUZA, 2012). Se tratando de uma rede orientada à conexão,

que tem o intuito de estabelecer conexões, também chamadas de caminhos virtuais, entre os pontos (SVERZUT, 2016). Pode-se definir segundo (SOUZA, 2012) que o QoS será dado por um identificador de classe chamado de QCI (QoS Class Identifier), onde cada classe de QCI receberá um tratamento na rede, perante seu número identificador.

O fluxo de pacotes é definido por um filtro de pacotes, tal filtro é sempre transportado nas mensagens NAS, tendo consigo uma identificação única denominada Packet Filter Identifier (PFI), para que seja feito o controle do fluxo de dados, são usados a identidade de caminho virtual (EPS Bearer Identity) e o PFI. Para padrão LTE, o EPS tem consigo dois modelos de fluxo de tráfego, um para enlace reverso, Uplink Traffic Flow Template – UL TFT) e para o enlace direto, Downlink Traffic Flow Template – DL TFT) (SVERZUT, 2016). A figura 17, onde mostra o funcionamento de uma QoS e descrição das etapas.

Figura 17 – Fluxo de Dados EPS



Fonte: SVERZUT, 2016.

A primeira etapa consiste no mapeamento do fluxo de dados agregado, no UE, sendo ele UL TFT. E é mapeado em um caminho virtual na direção do enlace reverso. É realizado o armazenamento do mapeamento entre o filtro de pacotes e o caminho virtual RB. Tal armazenamento é realizado pelo UE. Estabelecendo assim, uma relação entre o UL TFT e o RB (SVERZUT, 2016).

Na segunda etapa, o elemento P-GW, irá fazer o processo semelhante ao descrito anteriormente, porém, em direção ao enlace direto. Realizando o armazenamento entre o filtro de pacote e as interfaces S5 e S8, estabelecendo assim uma relação entre o DL TFT e S5/S8 (SVERZUT, 2016).



A terceira etapa é onde ocorre o transporte entre o UL TFT e o eNodeB. A partir disso, o eNodeB irá fazer o armazenamento do mapeamento um-a-um entre o caminho virtual RB e S1, criando assim uma relação entre RB e S1 (SVERZUT, 2016).

No quarto passo, S1 transporta UL TFT até o servidor S-GW. Após o fluxo chegar a S-GW as interfaces S5 e S8, fazem o transporte do caminho virtual EPS. Onde o elemento S-GW faz o armazenamento do mapeamento um-a-um entre as interfaces S1 e S5/S8, com o intuito de criar uma relação entre as interfaces em seus determinados enlaces (SVERZUT, 2016).

Os EPS beares podem ser divididos em dois tipos, sendo o que possua garantia de guarda de largura de banda (Guaranteed Bit Rate, GBR) e os que não possuem garantia de largura de banda (Guaranteed Bit Rate, non-GBR). Pode-se definir que a utilização de um EPS beares GBR possuem a garantia que não irão ocorrer perdas de pacotes que podem ser ocasionadas por congestionamento, isso ocorre devido ao devido aos controladores de rede presentes no LTE, que são executados quando um EPS bearer é estabelecido, este tipo de EPS, realiza a alocação de recursos de transmissão de rede para prover o serviço ao usuário. Em contrapartida se tem o non-GBR, onde podem ocorrer perdas de pacotes por congestionamento, podendo ser mantido por um longo período sem ser bloqueado (SOUZA, 2012). Os parâmetros que estão associados a estes tipos de caminhos, são os seguintes:

- **Identificador de Classe QoS (QoS Class Identifier – QCI)**

Trata-se de um valor, que é obtido pela rede LTE, que busca identificar qual o tipo de tratamento que a rede deve exercer sobre o pacote (SOUZA, 2012).

- **Alocação e retenção de prioridade (Allocation and Retention Priority – ARP)**

Este parâmetro é usado para julgar se o estabelecimento de um caminho virtual poderá ser aceito ou não nos casos de limitação de recursos (SVERZUT, 2016).

- **Taxa máxima de bits (Maximum Bit Rate – MBR) e Taxa de bits garantida (GBR)**

A MBR é a taxa máxima de tráfego que o EPS bearer pode chegar, com o conceito já definido anteriormente, onde o GBR é taxa reservada, o 3GPP em sua release 8 definiu que o MBR e o GBR devem ser iguais (SOUZA, 2012).

- **Taxa máxima de bits agregada (Aggregate Maximum Bit Rate – AMBR)**

A AMBR se refere ao total da taxa alocada para um grupo de EPS bearer non-GBR. Isso auxilia o operador de rede a identificar quais clientes tem maior prioridade e quais tem uma menor prioridade, a partir dos valores AMBR (SVERZUT, 2016). Perante a isso, a AMBR é dividida em duas definições:

- Taxa máxima de bits agregada por APN (APN-AMBR), este parâmetro tem como intuito limitar a taxa de bits agregada negociada, negócio este realizado entre o UE e o APN (Access Point Name) e armazenados no HSS, que pode ser disponibilizada por meio de todos os EPS non-GBR. Este parâmetro é utilizado somente para EPS non-GBR (SVERZUT, 2016).
- Taxa máxima de bits agregada por UE (UE-AMBR), está é definida pelo usuário também sendo armazenada no HSS e disponibilizado para o eNodeB e P-GW (SOUZA, 2012).

#### **2.5.4 Modulação / Multiplexação no 4G**

Com intuito de obter uma maior eficiência espectral, buscando também permitir a utilização no domínio do tempo e da frequência, foi adotada uma técnica de acesso por múltiplas portadoras para acesso múltiplo. Para o enlace direto, foi escolhido o OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), enquanto para o enlace reverso foi escolhido o SC-FDMA (Single Carrier – Frequency Multiple Access) (SVERZUT, 2016).

A escolha de técnicas distintas para os enlaces, está diretamente ligada a suas formas de funcionamento. Enquanto o OFDMA utiliza uma alta relação de potência de pico para média (Peak-to-Average Power Ratio - PAPR), tendo como premissa que os amplificadores de potência possuam altos requisitos de linearidades, elevando assim o consumo de energia isso faz com que se elevem os custos dos amplificadores, quando passamos para o lado do enlace reversos para que fosse utilizado a mesma técnica, os aparelhos teriam um custo ainda maior, com o intuito de suprir os componentes utilizados, a escolha do SC-FDMA foi feita pois, é gerado um sinal com prestadora única, com isso seu PAPR é baixo (NOHRBORG, *S.D*).

##### **2.5.4.1 OFDM**

A transmissão de informação no enlace direto é baseada na técnica de Frequency Division Multiplexing (FDM), que faz a divisão da informação em um número de sub-portadoras de RF que tem espaçamento igual entre si. Assim os dados são modulados de forma independente e

transmitidos sobre uma quantidade de sub-portadoras que são ortogonalmente espaçadas. Isso é feito utilizando o módulo de processamento digital de sinal conhecido como transformada inversa de Fourier (IDFT – Inverse Discrete Fourier Transform). (SVERZUT, 2016) (MOREIRA, 2018).

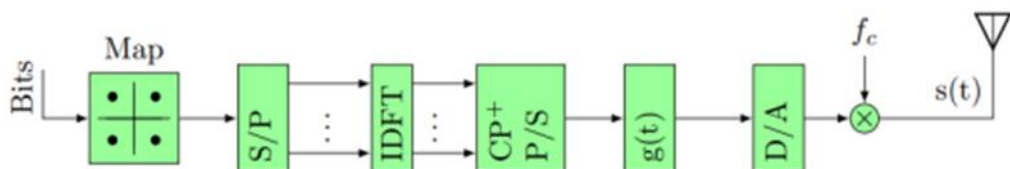
Como já falado anteriormente, a técnica de transmissão utilizada no enlace direto E-UTRAN é a OFDMA, as informações são moduladas em sub-portadoras, onde a fase e a amplitude variam, podendo ambas variarem. Para o enlace direto, podem ser adotadas as seguintes modulações: Binary Phase Shift Keying (BPSK), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), Quadrature Amplitude Modulation (QAM, 16QAM e 64QAM). Onde se é aplicado a cada subportadora um impulso retangular.

Para que ocorra toda a transmissão, o processo se inicia com o mapeamento dos bits, que são divididos em quadrantes onde cada ponto representa um símbolo modulado em uma das modulações disponíveis. Após este mapeamento, é realizada a conversão serial para paralelo, pelo S/P após a conversão é aplicada a transformada IDFT – Inverse Discrete Fourier, equação 1. (MOREIRA, 2018). A figura 18 ilustra como ocorre este processo de transmissão. (NETO, 2014).

$$X_k = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{j\frac{2\pi}{N}kn}, n= 0,1,\dots,N-1$$

Equação 1

Figura 18 – Transmissor OFMD



Fonte: MOREIRA,2018

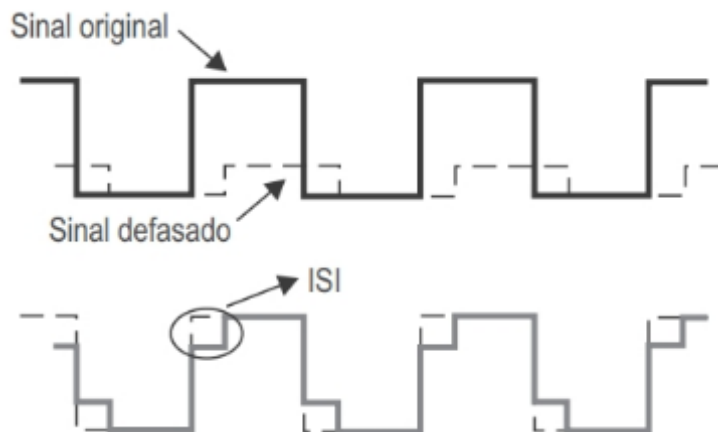
Logo após aplicar a transformada de Fourier, são adicionados os CPs (Cyclic Prefix).

O CP, é adicionado com o intuito de aumentar o tamanho de cada bloco, sendo formado por uma cópia da última porção do símbolo transmitido. O tempo do símbolo deverá ser maior

que o atraso máximo aceitado, com a intenção de prevenir o ISI (InterSymbol Interference). (NETO, 2014).

O ISI, acontece quando o atraso provocado pelo multipercurso é superior à duração do símbolo transmitido. Com isso, o receptor irá ter uma sobreposição temporal dos símbolos, como mostrado na Figura 19, onde pode dizer ser um atraso na recepção do símbolo. Com o intuito de minimizar este cenário, é adicionado o GP (Guard Period) que tem como intuito fazer com que o atraso seja inferior a duração da transmissão do símbolo, sendo implementado pelo CP. (SVERZUT, 2016). É possível observar na figura 19 o que é um ISI em um sinal transmitido, onde o sinal original diverge do sinal recebido, dada a ocorrência de tal interferência.

Figura 19 – Interferência Intersimbólica (ISI)

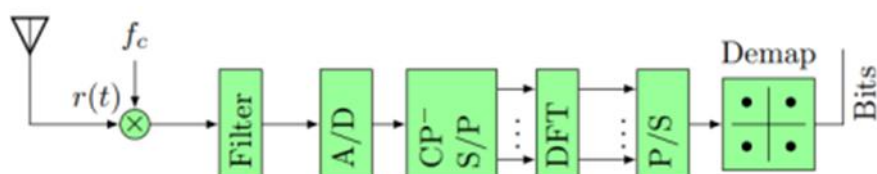


Fonte: SVERZUT, 2016.

Após esta etapa, o conjunto de símbolos passa por um formatador de pulso  $g(t)$ , onde ocorre a conversão de digital para analógico, assim, os dados são enviados para a banda passante com portadora  $f_c$  e o sinal é transmitido para o meio (MOREIRA, 2018).

O processo de recuperação do sinal, após sua transmissão ocorre conforme figura 20.

Figura 20 – Receptor OFDM



Fonte: MOREIRA, 2018.

Onde se tem uma função  $r(t)$ , que diz respeito ao sinal corrompido pelo canal, logo após isso é realizada a multiplicação pelo oscilador senoidal de frequência  $f_c$ . Em seguida o sinal passa por um filtro passa baixa (LPF – Low Pass Filter), ocorre a conversão de analógico para digital e são retirados os CPs. Após este processamento, é calculada a transformada de Fourier (DFT – Discrete Fourier Transform), conforme equação 2 (FUKUDA, 2016):

$$X_k = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, n=0,1,\dots,N-1$$

Equação 2

Logo após esse cálculo o sinal é convertido de paralelo para serial e a demodulação do sinal é realizada, conforme modulação empregada.

Como já falado, o LTE faz a utilização da tecnologia OFDMA no enlace direto, que permite a presença de diversos usuários na interface RF. A diferença entre as técnicas OFDM e a OFMDA se dá pela forma de separação dos usuários, sendo que na OFDM a separação é realizada somente no domínio do tempo, enquanto no OFDMA os usuários são separados no domínio do tempo e da frequência. (SVERZUT, 2016)

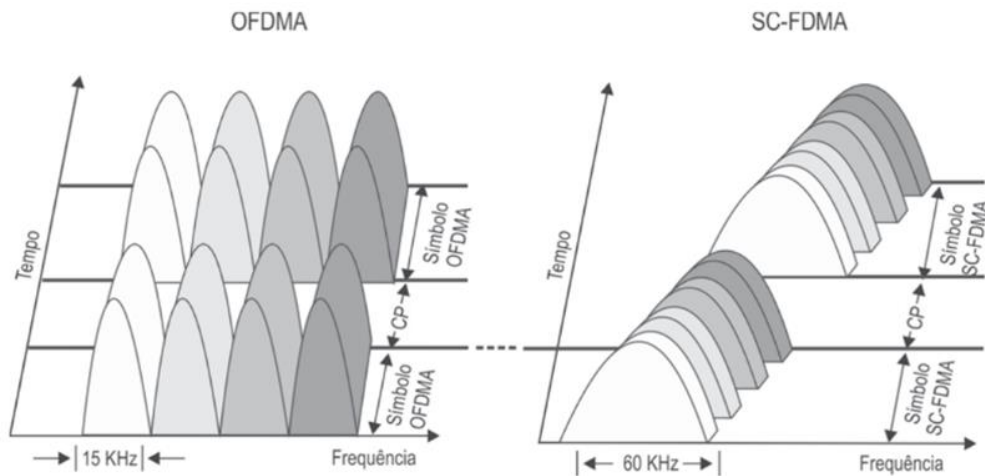
Com isso, o método OFDMA permite a alocação das subportadoras de RF conforme as taxas que foram acordadas entre o usuário e a rede E-UTRAN. Fazendo isso se tem uma otimização dos recursos do espectro, pois as taxas são transportadas simultaneamente em uma única interface RF. (SVERZUT, 2016). Isso ocorre graças a possibilidade de compartilhamento de banda, após o acordo realizado entre o UE e o E-UTRAN, a banda que não foi utilizada poderá ser alocada a outro usuário. (MOREIRA, 2018).

#### 2.5.4.2 SC-FDMA

Como já exposto anteriormente, para o enlace reverso foi implementado o SC – FDMA. Isso se dá pelo fato de que quando se trata de OFDMA existe uma elevada relação PAPR, com isso para que fosse desenvolvido um amplificador de potência que atendesse a esse requisito, o valor do UE seria mais elevado, além de ter um consumo maior de bateria. (SVERZUT, 2016).

Pode-se apontar como principal diferença entre o OFDMA e o SC-FDMA, a quantidade de subportadoras utilizadas no domínio da frequência, conforme figura 21. A imagem mostra a presença de uma única subportadora, no domínio da frequência. Isso faz com que os amplificadores de potência das estações móveis sejam simplificados, reduzindo assim o custo final para o usuário. (SVERZUT, 2016).

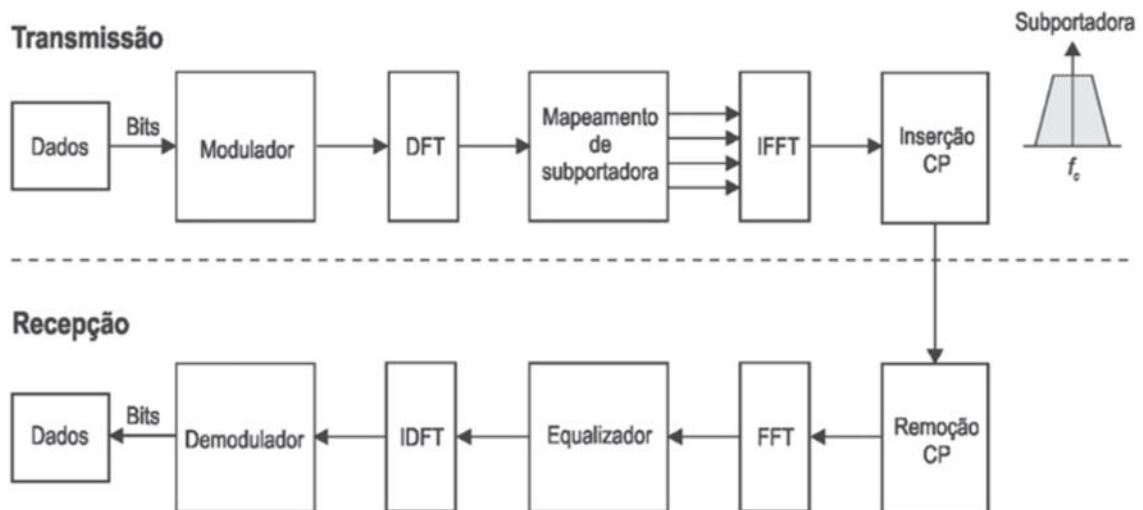
Figura 21 – Diferença entre OFDMA e SC-FDMA



Fonte: SVERZUT, 2016.

Este método, tem sua implementação utilizando a transformada discreta de Fourier (Discrete Fourier Transform – DFT) no transmissor e sua operação inversa (Inverse Discrete Fourier Transform – IDFT) no receptor. (SVERZUT, 2016). A figura 22 mostra um transmissor SC-FDMA e seus componentes.

Figura 22 – Transmissor SC-FDMA



Fonte: SVERZUT, 2016.

Neste método, cada subportadora transporta informações ligadas a todos os símbolos modulados devido a presença da DFT, que realiza o espalhamento dos dados de saída do modulador sobre todas as subportadoras disponíveis na interface RF, diferente do OFDMA, no SC-FDMA os dados não são transportados em paralelo, continuam serializados. Uma outra diferença entre esses dois métodos, está na presença do equalizador, no processo de recepção

dos dados. Nestes métodos a utilização de uma única portadora tem efeito também em um aumento do ISI, pois, existem mais CPs por portadoras RF. O equalizador entra com o intuito de combater essa interferência. (SVERZUT, 2016).

### 2.5.4.3 Modulação

Para o LTE foi adotada uma técnica de modulação adaptativa e codificação de canal (Adaptive Modulation and Coding – AMC). Esta técnica tem como intuito se adaptar aos recursos disponíveis na interface RF, maximizando assim a eficiência espectral e disponibilizando um QoS requerido pelo usuário, estando isso diretamente ligado a perda de pacotes e latência. Esta adaptação ocorre por meio das seguintes formas (SVERZUT, 2016):

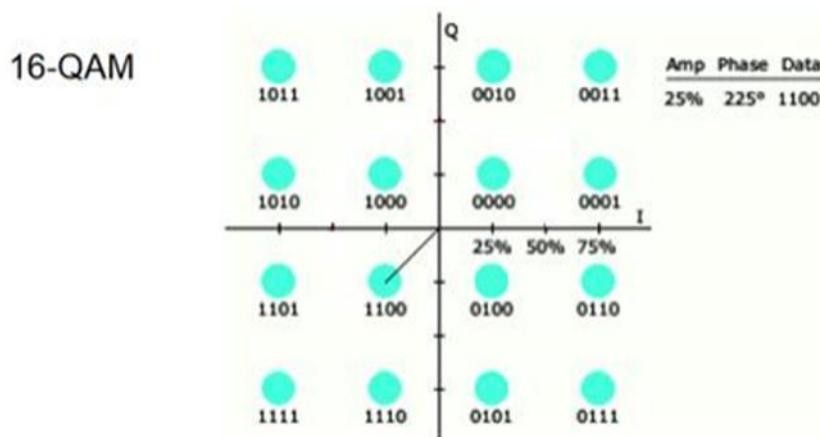
- **Modulation scheme:** Neste esquema é levado em consideração a relação sinal/interferência mais taxa de ruído (Signal to interference-plus-Noise Ration – SNIR). Perante a isso serão feitas as definições de qualidade e será escolhido o melhor esquema de modulação. Quando se tem um SNIR baixas, serão utilizadas modulações mais robustas com relações a erros, reduzindo a carga útil das informações (payload). Isso ocorre devido à baixa qualidade do enlace que faz com que a recuperação das informações seja algo mais “priorizado” ao invés da priorização por meio do aumento da carga de cabeçalhos (overhead). As modulações que melhor atendem a este cenário são BPSK e a QPSK. Consequentemente, quando se tem uma relação de SNIR alta, o que implica em uma melhor qualidade diminuindo assim as chances de perda, a carga útil da informação terá um aumento enquanto inversamente, a carga de cabeçalho terá uma diminuição. Para atender este cenário, no padrão LTE, as modulações que apresentam maior eficiência espectral são a 16QAM e 64QAM (SVERZUT, 2016).
- **Code rate:** A taxa de códigos funciona da seguinte maneira, quando se tem uma qualidade elevada, no enlace de comunicação, implicará em uma maior transferência de dados (throughput), seguindo uma lógica inversa, de menor qualidade, serão transmitidos poucos dados (SVERZUT, 2016).

#### 2.5.4.3.1 Modulação QAM

A modulação QAM utiliza um esquema de constelação para o sinal. Com isso, a depender de uma combinação de amplitude e fase, cada símbolo irá ocupar um ponto nos quadrantes

disponíveis. Como mostrado na figura 23, onde se tem um sinal com amplitude 25% e fase de 225 graus, onde ocupa uma posição no terceiro quadrante tendo como representação o símbolo 1100 na modulação 16QAM (MOREIRA, 2018).

Figura 23 – Diagrama modulação QAM



Fonte: SVERZUT, 2016.

Tradução: Amp = Amplitude; Phase = Fase; Data = dados.

#### 2.5.4.4 Sistema de Antenas

Com o objetivo de elevar as taxas de transferência, a tecnologia LTE faz a utilização da técnica MIMO (GUEDES, 2009). Esta técnica realiza o reaproveitamento dos sinais refletidos, proporcionando assim, um aumento na taxa de transferência (throughput) (MOREIRA, 2018). Uma das explicações para o aumento da taxa de transferência é, que o MIMO faz a utilização de antenas tanto no transmissor, tendo múltiplas saídas, quanto no receptor, possuindo múltiplas entradas, onde é realizada uma otimização no momento da transferência e recebimento do sinal (FERREIRA, 2008).

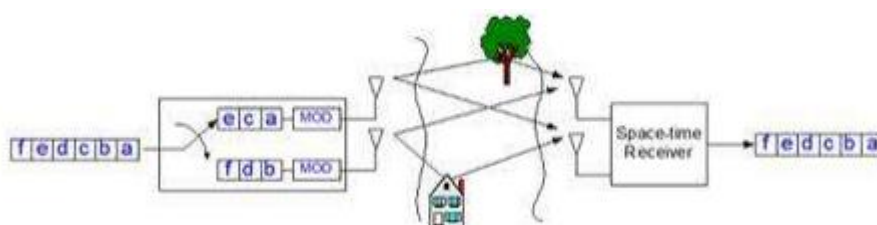
O MIMO proporciona basicamente três vantagens, sendo elas (MELO, 2015):

- Ganho de multiplexação espacial;
  - Ganho de diversidade espacial;
  - Ganho de arranjo.
- **Multiplexação Espacial:** esta técnica é empregada com o intuito de tornar a propagação multipercurso benéfica para o usuário. Na multiplexação espacial os sinais são enviados por diversos feixes, que são espalhados pelo ambiente para que chegue ao seu destino. Tal recurso é utilizado levando em consideração as mudanças de direção do sinal após colidir ou desviar nos distintos obstáculos que podem existir em sua trajetória. Essas



condições trazem consigo a mudança de percurso que podem causar atrasos em partes do sinal, este fator é compensado por meio de algoritmos presentes nas antenas receptoras, que para a recuperação do sinal realizam cálculos se baseando na reflexão sofrida por ele ao longo de seu percurso (ALMEIDA, 2013). Com a utilização de canais paralelos para a transmissão da informação, onde possuem a mesma frequência e no mesmo instante de tempo, por meio de antenas diferentes. Os recursos disponibilizados por essas técnicas, possibilitam que a qualidade a qual os canais se submetem, seja de no mínimo um sistema SISO (Single Input Single Output) (MELO, 2015).

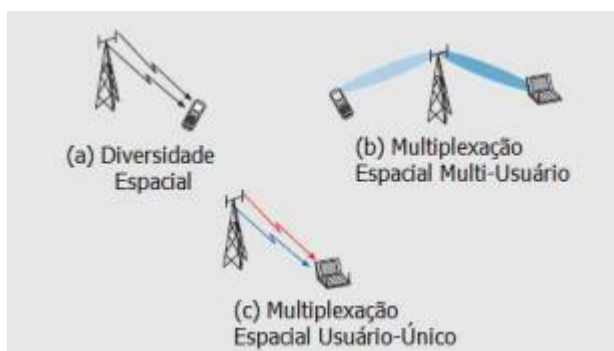
Figura 24 – Multiplexação Espacial



Fonte: ALMEIDA, 2013.

Ainda sobre a multiplexação espacial, esta pode ser classificada em dois tipos: Multiplexação multi-usuário figura 25(b) e Multiplexação usuário-único figura 25(c). No cenário b, o fluxo de dados é transmitido para distintos usuários, fazendo assim a reutilização de recursos possibilitando a alocação de uma maior quantidade de usuário, enquanto no segundo cenário, diferentes antenas são utilizadas para atender um único usuário (AMORIM, 2009).

Figura 25 – Diferentes abordagens MIMO



Fonte: AMORIM, 2009.

- **Diversidade Espacial (Codificação espaço tempo):** Esta técnica consiste em codificar uma determinada quantidade de dados enviando-os simultaneamente por

diferentes antenas. Este envio tem como intuito aumentar a força total do sinal enviado (FERREIRA, 2008).

- **Arranjo:** O sistema 4G, apresenta um sistema de antenas adaptativas, que visam torná-los mais robustos e confiáveis. Este sistema traz consigo o aumento da qualidade para o usuário e a diminuição da interferência. (MELO, 2015).

### 2.5.5 LTE-ADVANCED

O LTE-Advanced é a evolução da 4G, padronizado pelo 3GPP no release 10, visando ter uma taxa de bits mais alta e de forma mais econômica, e cumprir parâmetros definidos pela ITU para IMT avançado, vulgo 4G. Os parâmetros são (WANNSTROM, 2013):

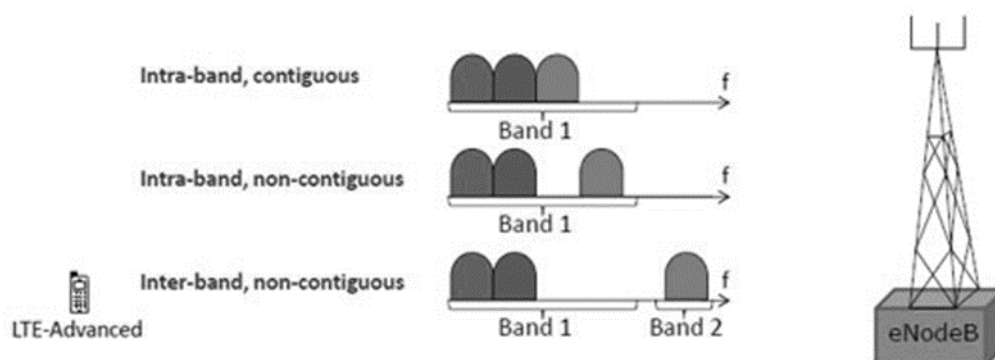
- Aumento na taxa de dados de pico, DL 3Gbps e UL 1,5Gbps;
- Maior eficiência espectral;
- Aumento no número de assinantes ativos simultaneamente.

O LTE-Advanced teve o incremento de novas funcionalidades, sendo elas Carrier Aggregation (CA), uso aprimorado do MIMO e suporte a Relay Nodes (RN) (WANNSTROM, 2013).

#### 2.5.5.1 Agregação de Portadora – Carerier Aggregation (CA)

O incremento do CA, pode ser considerado um ponto fundamental para que fossem atingidos os objetivos colocados pela ITU, pois permite a utilização de portadoras componentes, sendo no máximo 5, que podem utilizar duas formas de full duplexing, TDD e FDD. A largura de banda máxima a ser utilizada é de 20 MHz, para que possa ser atingido uma largura de banda total de até 100 MHz (MOREIRA, 2018). Porém, ocorrem cenários de que não é possível fazer com que sejam operadas na mesma frequência. Neste caso é utilizado a alocação não-contígua, onde portadoras podem ocupar a mesma frequência de banda (Intra-band), separadas por um intervalo de frequência, no caso das portadoras pertençam a diferentes frequências (estes são casos inter-bandas) (WANNSTROM, 2013). A figura 26 mostra o descritivo.

Figura 26 – Exemplo CA



Fonte: WANNSTROM, 2013.

Tradução: Intra-band = intra-banda; Contíguos = Contíguo; Non-Contíguos = Não contíguo

### 2.5.5.2 MIMO

Com o LTE-Advanced são introduzidos modelos de 8x8 MIMO para o DL e 4x4 para o UL (WANNSTROM, 2013).

### 2.5.5.3 Nós de Relé – Relay Nodes

Os RNs são estações base de baixa potência, que tem como intuito fornecer melhor cobertura e capacidade aprimoradas nas bordas das células, podendo também ser utilizadas para conexão a áreas remotas sem conexão de fibra. A conexão entre o RN e o DeNB, é realizada por meio de uma RF UU (WANNSTROM, 2013).

Com o passar do tempo e a evolução constante para melhor atender as demandas, no release 11, foi introduzido a operação multi-ponto coordenada (Coordinate Multi Point - CoMP). Essa introdução tem como intuito melhorar o desempenho da rede nas bordas das células. No CoMP, diversos pontos Tx (transmissão) fornecem transmissão coordenada no DL e vários pontos RX (receptores) fornecem recepções coordenadas no UL (WANNSTROM, 2013).

Outra tecnologia utilizada como 4G é o Wimax. Para maiores detalhes sobre o Wimax, pode ser consultar (SANTOS, 2011), levando em consideração que a maior parte dos países adotaram o LTE como tecnologia 4G este trabalho optou por apresentar o LTE.

Com o exposto acima, pode-se concluir que a tecnologia 4G fez com que a evolução esperada pelo ser humano fosse em partes atendida. O aumento da taxa de DL e UL por meio de técnicas empregadas como o OFDMA, possibilitou que o serviço entregue ao usuário fosse de maior qualidade, que por meio da adoção de técnicas como OFDM, e suas variações utilizadas, em conjunto com técnicas de modulação e um serviço de antenas mais eficiente, que

com isso fez uma flexibilização na utilização do espectro e largura de banda disponíveis. Por meio disso, foi possível obter um salto na velocidade atingida por meio de smartphones, uma menor latência de 10ms e com isso proporcionando uma melhor experiência ao usuário.

## 2.6 5G

### 2.6.1 O que será o 5G?

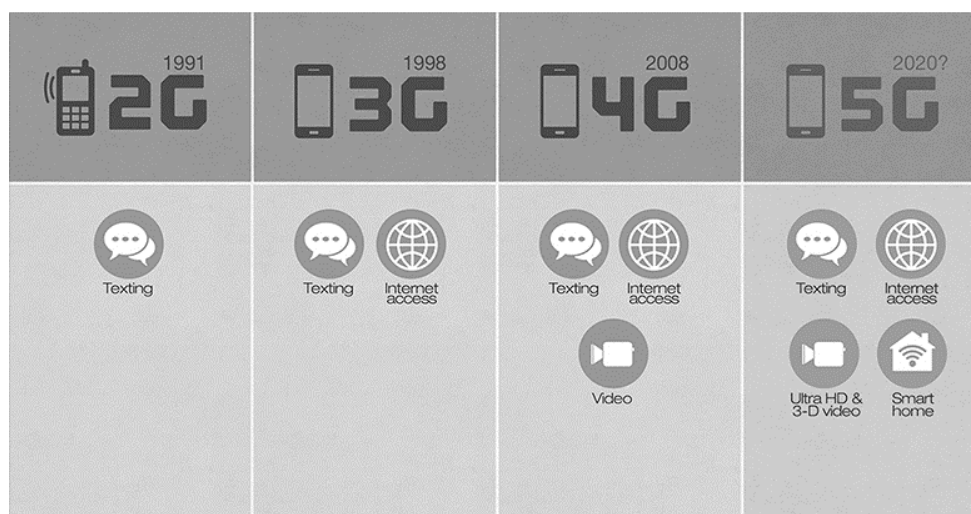
De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) a tecnologia móvel 5G terá um papel central no processo de transformação digital da economia e da sociedade. É esperado que com ela tenha-se uma ampliação significativa no número de dispositivos móveis conectados à internet e IOT.

A nova tecnologia 5G tem a garantia de uma conexão mais rápida que o 4G e o potencial de ser a plataforma universal de acesso móvel a uma conexão de banda larga, uma tecnologia preparada para o mundo atual que tem uma quantidade absurda de pessoas conectadas em diversos lugares.

Seu grande diferencial está na possibilidade de oferecer interconectividade de alta qualidade entre aparelhos e serviços, menor latência na transmissão de dados e impulsionar o crescimento da IOT.

A Figura 27, a seguir, ilustra uma comparação entre cada geração de redes móveis. Temos desde o 2G até a mais nova 5G que começa a ser implantada pelo mundo. E observa-se que a cada geração, os serviços evoluíram e novos surgiram.

Figura 27 – Evolução das redes móveis



Fonte: CNN, 2015.

Tradução: Texting = SMS (Mensagens de texto); Internet access = Acesso à internet; Smarthome = Casa Inteligente.

## 2.6.2 Pilares do 5G

### 2.6.2.1 Baixa latência

A latência é o tempo (ou atraso) que um dado e informação leva para chegar ao destino; essa medida é dada em milissegundos. Em alguns casos a latência não é tão perceptível e/ou não incomoda, mas com tantos avanços em tecnologias inteligentes, como carros autônomos por exemplo, milissegundos de tempo de resposta para uma decisão faz toda a diferença.

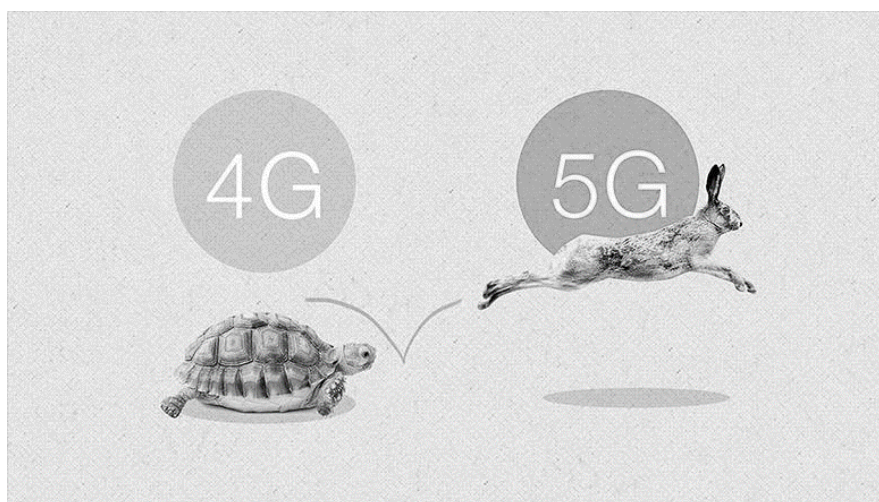
Em termos comparativos a rede 3G tinha um tempo de resposta de 30 milissegundos, à 4G de aproximadamente 10 milissegundos e o 5G promete ser tão baixo quanto aproximadamente 1 milissegundo. Praticamente instantâneo, o que abre uma margem muito grande para um mundo de aplicações e serviços interconectados. (TELECO, 2017)

### 2.6.2.2 Banda Larga

Segundo (GOLDMAN, 2015) o 5G terá a capacidade de fornecer dados significativamente mais rápidos e uma maior capacidade de manter o mundo conectado. Novas tecnologias como a internet fixa sem fio para casas e maior conectividade para pessoas em movimento.

A velocidade do 5G comparada a veterana 4G mostra um salto gigante do que temos hoje em questão de rede móvel, podendo ser até 40 vezes mais rápida. Com isso seria possível baixar um filme que tenha um tamanho de 5GB em menos de 1 minutos. A figura 28, a seguir, faz essa comparação de uma forma divertida onde o que o 4G comparado ao 5G pode oferecer em termos de velocidade parece uma tartaruga.

Figura 28 – Comparativo de velocidade 4G e 5G



Fonte: GOLDMAN, 2015.

Em questão de serviços que hoje são oferecidos com o 4G, as franquias de dados limitadas podem estar perto do seu fim, pois comparado com o 5G o potencial de dados que poderá ser oferecido será sem limitação e bem similar com a internet fixa. A expectativa no Brasil é que as operadoras consigam oferecer esses serviços sem limitação e a um preço com um bom custo-benefício.

### 2.6.2.3 Conexões simultâneas

A principal diferença do 5G destacado por (QUEIROZ, 2019) é que ela foi e é pensada de maneira diferente comparada ao processo de desenvolvimento das outras tecnologias e a atual 4G, de modo que supere barreiras de conectividade e supra as necessidades de um novo mundo que terá uma grande necessidade de interconectividade (figura 29) e comunicações via conexões sem fio mais eficientes.

O 5G tem como foco conseguir fornecer uma capacidade de suportar até 1 milhão/km<sup>2</sup> de conexões de acordo com (TELECO, 2020). Atingir esse ponto será um grande desafio e claro para os usuários e empresas será uma grande oportunidade.

Figura 29 – Conectividade 5G



Fonte: EMF Explained, [s.d].

### **2.6.3 Tecnologias e Metodologias da rede 5G**

Para o 5G poder oferecer toda essa inovação na quantidade de dados, conectividade e qualidade de serviço é necessário que tenha uma melhoria e criação de novas tecnologias que entreguem estes resultados com mais eficiência do que as outras gerações.

Abaixo será descrito algumas das tecnologias que poderão estar presente na implantação do 5G e até mesmo durante a sua evolução, promovendo serviços mais eficientes.

#### **2.6.3.1 Self-Interference Cancellation (SIC)**

Temos a tecnologia de SIC que atua para cancelar a interferência de sinais em um rádio full duplex (definido no item 2.2.3), que quando recebe sinais de outro rádio, ele também recebe sinais de interferência por sua própria transmissão, resultando em auto interferência (PANWAR, 2015).

Para a definição de técnicas SIC é citado (ZHANG, 2015) que a classifica em dois tipos:

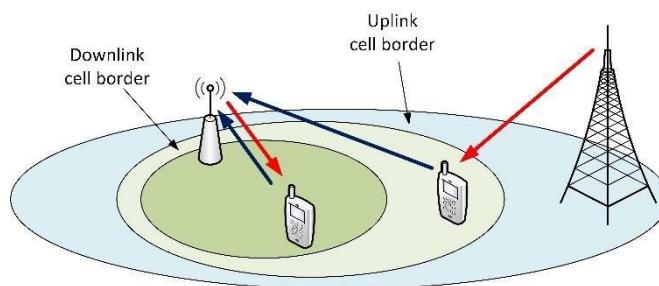
- Passiva: é definida como aumento de potência do sinal imposta pela perda de caminho devido à separação física entre a transmissão e a recepção de antenas do mesmo dispositivo;
- Ativa: tem a função de facilitar a comunicação FD (full-duplex) em alcances de até 6 metros em potências de transmissão típicas de dispositivos WiFi, podendo reduzir o nível de interferência de até 50dB.

A implementação desta técnica proporciona ao 5G uma taxa de transmissão melhorada além de diminuir situações em que a interferência prejudique a integridade da informação.

#### **2.6.3.2 Downlink and Uplink Decoupling (DUD)**

Como define (PANWAR, 2015) o DUD no 5G resulta em uma arquitetura centrada no usuário e na melhoria dos canais de UL, pois na estrutura das redes celulares atuais (3G,4G), temos o UE que está associado a um BS baseado na potência do sinal que recebe do canal de DL, e que usa o mesmo BS para transmitir o canal de UL. Com a técnica de DUD o UE tem a possibilidade de selecionar canais de DL e UL de BSs distintas, levando em consideração a qualidade da transmissão e qual a da capacidade da célula. Com a figura 30 é possível mostrar como funciona o DUD.

Figura 30 – Modelo do sistema DUD



Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/System-model-for-uplink-downlink-decoupling\\_fig2\\_319978814](https://www.researchgate.net/figure/System-model-for-uplink-downlink-decoupling_fig2_319978814)

Tradução: Downlink cell border = Borda da célula de downlink; Uplink cell border = Borda da célula de uplink.

### 2.6.3.3 Network Function Virtualization (NFV)

O NFV diminui a carga sobre os operadores de rede como expõe (PANWAR, 2015), devido os benefícios da virtualização de funções de rede, serviços de domínio, gerenciamento de carga de tráfego e o armazenamento de dados em cache, que ficam em execução em servidores commodity a parte e que geram economia no custo geral.

### 2.6.3.4 Software Defined Networks (SDN)

Arquiteturas SDN particionam funções de controle de rede e encaminhamento de dados, portanto, as funções de controle de rede são programáveis, e a infraestrutura de rede lida com aplicativos e serviços de rede (PANWAR, 2015).

Esta separação entre o controle de rede e encaminhando de dados permite que as funções de controle sejam únicas do controlador de software, onde permite a configuração da rede sem conter por alguma limitação de hardware, que implica em uma melhor administração da rede sem dependência de tecnologia (OLIVEIRA, 2018)

### 2.6.3.5 Millimeter Waves (mmWave)

A largura de banda sem fio atual não é capaz de suportar um grande número de UEs em redes 5G. Devido a isto surge a proposta do mmWave de altas taxas de transferências de dados, com bandas de frequências acima de 30GHz (PANWAR, 2015).

Um dos problemas que a mmWave irá enfrentar com uma certa frequência é sua vulnerabilidade a objetos que possam impedir a passagem dos sinais, devido a utilizar bandas mais altas que tem o risco da perda de trajetória maior. Por outro lado, tem os requisitos para conseguir atender a potência necessária do 5G.



No Brasil de acordo com Anatel, será feito o estudo do espectro mmWave por meados do 2º semestre de 2021 para saber quais serão disponibilizadas na implantação do 5G considerando a WRC-19 (World Radiocommunication Conference 2019 - ITU).

#### **2.6.3.6 Machine-to-machine (M2M)**

A comunicação M2M refere-se à comunicação entre dispositivos sem intervenção humana, alguns exemplos que a serem citados é sistemas de monitoramento e de segurança, sensores, equipamentos de IoT e entre outros. Dentro desse universo da comunicação M2M tem-se uma preocupação que é exposta por (PANWAR, 2015), sobre as necessidades e desafios do desenvolvimento da comunicação M2M, que requer conectividade em massa entre os dispositivos, altas transferências de dados, baixa taxa de latência, confiabilidade da tecnologia, compatibilidade e custo, são os fatores importantes para o desenvolvimento dessas tecnologias.

#### **2.6.3.7 Visible Light Communication (VLC)**

Como define (QUEIROZ, 2019) a comunicação por luz visível é um meio de transferência de dados de alta velocidade para dispositivos óticos, que faz o uso da modulação de amplitude de LEDs (Light Emitting Diode) para realizar a comunicação entre dispositivos. É uma tecnologia que tem eficiência no gasto de energia, e que pode funcionar com uma massa de frequências permitindo a reutilização delas. Porém possui alguns desafios que enfrenta devido a sua sensibilidade a luz solar e não ter a capacidade de estabelecer a comunicação com dispositivos fora do raio de visão entre eles.

#### **2.6.3.8 Cache rápido**

O cache é uma forma de armazenar dados temporários para reduzir o acesso aos dados da memória lenta ou da rede, fazendo com que os conteúdos 5G se tornem populares na rede e respondam a solicitação no lugar dos servidores, reduzindo os acessos enviados diretamente para o servidor. (PANWAR, 2015).

Como aponta (QUEIROZ, 2019) é possível que no futuro, seja viável aos usuários possuírem memória suficiente em seus próprios dispositivos para armazenar dados base para outros usuários, criando um tipo de “biblioteca” com algumas informações de conteúdo e de fonte, onde um outro usuário consiga solicitá-los rapidamente.

## **2.6.4 Arquitetura 5G**

### **2.6.4.1 Core 5G**

Nas palavras de (OLIVEIRA, 2018) a rede 5G não só precisa melhorar a eficiência das tecnologias anteriores, mas precisa ter uma arquitetura flexível e escalável para se adaptar, visto que irá coexistir com o LTE e Wi-Fi. Visando o cenário de adaptação é importante levar em consideração ter um plano de usuário e um plano de controle que defina os limites da rede de core e a rede de acesso.

Cada vez mais a virtualização está ganhando espaço em todos os ambientes, utilizar esses elementos traz consigo diversos benefícios, desde a flexibilidade, escalabilidade e programabilidade da rede.

#### **2.6.4.1.1 Rede Core**

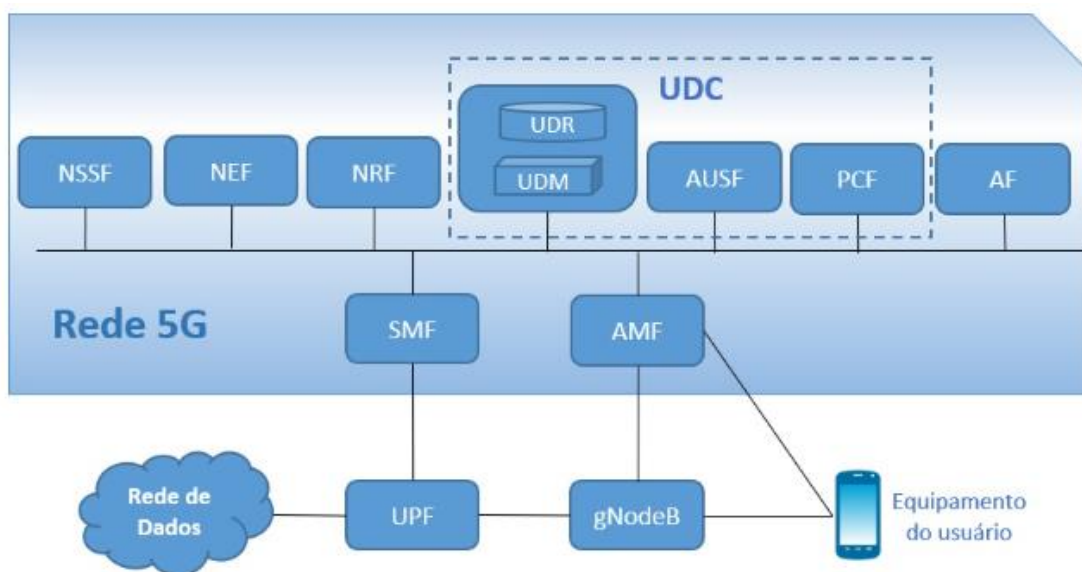
Para facilitar o dimensionamento, implementação e adaptação da rede 5G, o 3GPP a partir da release 14 adotou a utilização da arquitetura plana realizando a divisão entre o plano de usuário (PU) e o plano de controle (PC) que se torna o CUPS (Control and User Plane Separation – CUPS).

O 5GC (CORE) separa o plano de controle e o plano do usuário. E a partir da release 15 e 16, partindo da evolução do CUPS, o gerenciamento de sessão SMF (Session Management function) é composto pela separação do controle de sessão do MME de gerenciamento de mobilidade e alinhadas com as funções do controle plano de dados SGW e PGW. E nesta estrutura o AMF (Access and Mobility Management Function) que é a função de gerenciamento de acesso e mobilidade, não possui conceitos de gerenciamento de sessão, o que beneficia a adaptação de redes de acessos não 3GPP, como aborda (GUTTMAN, 2018) e no 5GC o gerenciamento de sessão de controle das mensagens das UE são encerrados pelo SMF e não pelo MME como é na estrutura CN (Core Network) do 4G.

Os aspectos de gerenciamento de sessão são muito específicos de acesso e, portanto, são especificados inicialmente para a Rede de Acesso de Rádio de Próxima Geração (NextGen RAN - NG-RAN). (GUTTMAN, 2018).

Pode-se observar na figura 31, a arquitetura CORE 5G e os seus componentes.

Figura 31 – Arquitetura CORE 5G



Fonte: OLIVEIRA, 2018.

Os principais elementos da arquitetura de rede de core do 5G nas palavras de (OLIVEIRA, 2018) que podem ser destacados são:

- AMF (Access and Mobility Management Function): Responsável pelo controle de acesso, gerenciamento de mobilidade e conexão do usuário;
- NSSF (Network Slice Selection Function): Seleciona o conjunto de fatias de rede que serão alocadas para o equipamento de usuário. (UE);
- NEF (Network Exposure Function): Mostra os recursos e eventos disponíveis;
- NRF (Network Function Repository Function): Contém a função de serviço de pesquisa, manutenção e abertura do perfil de fatia da rede e instâncias disponíveis;
- UDR (Unified Data Repository): Banco de dados com informações dos usuários armazenados;
- UDM (Unifed Data Management): Gera a chave de autenticação, autorização de acesso e gerenciador de usuários (faz parte do HSS no EPC);
- AUSF (Authentication Server Function): Executa a função de servidor de autenticação (faz parte do HSS NO EPC);
- PCF (Policy Control Function): Fornece as políticas para as regras e controle de tarifação (PCF tem parte da função de PCRF no EPC);
- UDC (User Data Convergence): Engloba UDR, UDM, AUSF e PCF;

- AF (Application Function): Verifica os serviços e aplicações que são considerados confiáveis pela operadora;
- SMF (Session Management function): Gerenciamento de sessão, alocação e gerenciamento de IP para o usuário;
- UPF (User plane function): Suporta roteamento de pacote e encaminhamento, inspeção de pacotes, tratamento de QoS e atua como ponto de interconexão para uma sessão de PDU (Protocol Data Unit);
- gNodeB: Estação radiobase 5G.

Um dos pontos que (OLIVEIRA, 2018) também expõem em seu trabalho é que a arquitetura core 5G evolui da rede 4G é o EPC, que tem um alto custo de implantação e dimensionamento, o qual demanda um hardware dedicado, alocação de recursos de forma ineficiente. Isto é um ponto que afeta diretamente as operadoras, que devido a esses custos acabam refletindo na expansão dos serviços.

#### **2.6.4.2 Radio Access Network (RAN)**

Os telefones celulares usam ondas de rádio para se comunicar convertendo sua voz e dados em sinais digitais para enviar como ondas de rádio. Para que seu celular se conecte a uma rede ou internet, ele se conecta primeiro através de uma rede de acesso por rádio (RAN). (VERIZON, 2020)

Com essa definição conseguimos compreender qual o papel e importância do RAN na arquitetura da telefonia móvel, que vem evoluindo desde a primeira geração.

De acordo com (JONES, 2021) com o desenvolvimento do 4G foi introduzido ao RAN a tecnologia LTE que trouxe uma mudança significativa, pois a conectividade do sistema pela primeira vez foi baseada no IP. Agora com a chegada do 5G mais melhorias estão vindo com a RAN centralizada (C-RAN) e antenas MIMO.

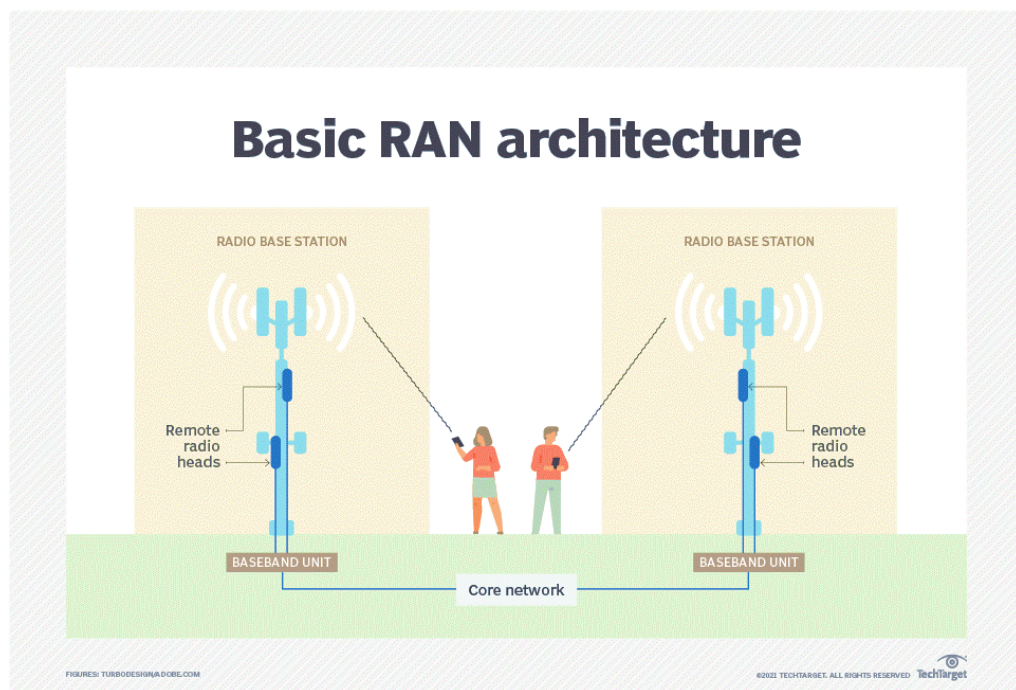
Um RAN é composto pelos seguintes componentes:

- Antenas: convertem sinais elétricos em ondas de rádio. (JONES, 2021);
- Os rádios: que transformam informações digitais em sinais que podem ser enviados sem fio e garantem que as transmissões estejam nas faixas de frequência corretas com os níveis de energia certos. (JONES, 2021);

- As unidades de banda base (Base band Unit - BBU): fornecem um conjunto de funções de processamento de sinal que tornam possível a comunicação sem fio. O processamento BBU detecta erros, protege o sinal sem fio e garante que os recursos sem fio sejam usados de forma eficaz. (JONES, 2021).

Abaixo a figura 32 mostra os componentes da arquitetura básica de um RAN.

Figura 32 - Arquitetura RAN



Fonte: JONES, 2021.

Tradução: Basic RAN architecture = Arquitetura RAN Básica; Radio Base Station = Estação rádio base; Remote radio heads = “Cabeças” de rádio remotas; Baseband Unit = Unidade de banda base; Core Network = Rede Principal.

A arquitetura C-RAN é conhecida por Rede de Acesso via Rádio Centralizada ou Cloud segundo (MENDES, 2019), e tem como característica principal centralizar os recursos de processamento de banda base, com um aglomerado (pool) de BBUs que simplificam a gestão e otimização dos recursos da rede, e que são compartilhados entre as estações rádio base. Outro ponto desta arquitetura é que todas as funções críticas de hardware são mantidas na parte física dos RRH (Remote Radio Head), e as funcionalidades do BBU são virtualizadas e concentradas em datacenters em locais comuns que são compartilhados para diversas células. (MARTRAT, 2017).

## 2.6.5 Modulação / Multiplexação

Conforme foi mostrado ao longo do desenvolvimento do tópico do 5G, uma de suas características é a busca por menor latência e maior conectividade a acesso de alta qualidade a serviços e aplicativos. Uma das partes mais importantes para que o 5G consiga atender a demanda dessas características são as tecnologias de multiplexação que serão utilizadas.

### 2.6.5.1 Generalized Frequency Division Multiplexin (GDFM)

O GDFM é uma técnica de modulação multiportadora, não-ortogonal, desenvolvida por Fettweis em 2009 e que com os estudos para o surgimento de uma nova geração móvel se tornou uma das opções para ser empregada na camada física do 5G de acordo com (SILVA, 2018).

Basicamente, com base em (GASPAR, 2017) o GFDM utiliza pulsos que são deslocados circularmente no domínio do tempo e da frequência para formatação espectral de maneira individualizada em sub-portadoras, que são responsáveis por transportar os símbolos de dados em subsequentes instantes de tempo.

Segundo (MATTHÉ, 2014) a estrutura do GFDM é baseada em bloco esquema. Esse bloco GFDM consiste em K sub-portadoras, cada uma é filtrada com um filtro de transmissão circular e cada bloco contém M sub-símbolos em cada sub-portadora. O filtro de transmissão empregado fica restrito à duração do bloqueio e a soma de cada subportadora é realizada circular com o comprimento do bloco. Os dados transmitidos em um bloco são representados como a matriz de dados D, onde temos  $d_k[m]$  contém os subsímbolos de dados de valor complexo a serem transmitidos na k-ésimo subportadora e m-ésimo subsímbolo.

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} d_0[0] & \dots & d_0[M-1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{K-1}[0] & \dots & d_{K-1}[M-1] \end{pmatrix},$$

Matriz D – Representação do bloco GFDM

O sistema é modelado na banda base digital e cada bloco GFDM consiste em amostras de domínio de tempo  $N = MK$  onde K amostras pertencem a um dos subsímbolos em cada subportadora são modelados como pulsos de Dirac que são K amostras separadas e o sinal geral de transmissão GFDM  $x[n]$  de um bloco é dado pela equação 3, onde  $d_{km} = d_k[m]$  e a equação

4 é o filtro de transmissão deslocado circularmente para o m-ésimo (M-1) e modulado para a k-ésima (K-1) subportadora. (MATTHÉ, 2014)

$$x[n] = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{m=0}^{M-1} d_{km} g_{km}[n], \quad n = 0, \dots, N-1,$$

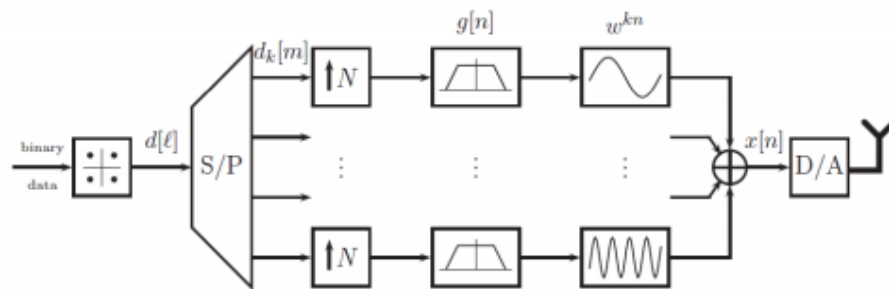
Equação 3

$$g_{km}[n] = g[(n - mK) \bmod N] \exp(j2\pi \frac{kn}{K})$$

Equação 4

A figura 33 representa o processo de modulação do bloco de transmissão do GFDM com as fórmulas acima.

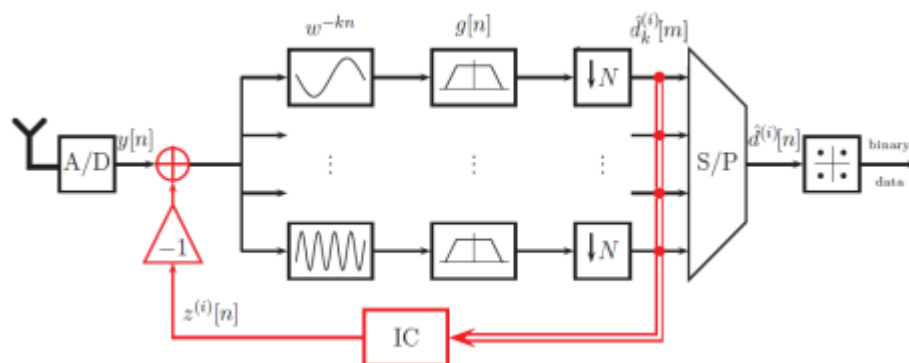
Figura 33 - Sistema de Transmissão GFDM do sinal com FFT



Fonte: LOPES, 2016.

Na recepção de sinal (figura 34), o CP é removido do sinal e é realizada sua equalização, os sinais são reconstruídos pela adição de formatos de pulso e recuperados conforme o sinal original emitido. (NOGUEIRA, 2016).

Figura 34 – Sistema de Recepção GFDM



Fonte: LOPES, 2016.

Vale ressaltar que neste exemplo as sub-portadoras são moduladas individualmente, utilizando uma forma de sinalização QAM. Onde os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura, sendo que cada símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude. Sabemos que as formas comuns de QAM incluem 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM e 256QAM. No caso do 5G, é relativamente mais fácil a implantação e uso da modulação na faixa do 256QAM de acordo com o (AHMED, 2019).

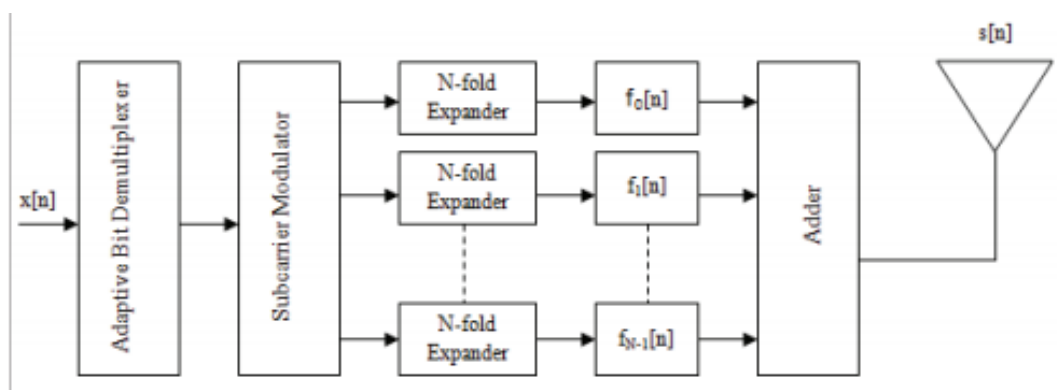
### 2.6.5.2 Filter Bank Multicarrier (FBMC)

Como aponta (NOGUEIRA, 2016) o sistema FBMC é uma variação do OFDM, e faz uso dos moduladores e demoduladores IFFT e FFT. Além disso, os filtros presentes nesse sistema têm a função de reduzir a faixa espectral e a largura da banda, o que gera uma melhora na eficiência espectral comparada ao OFDM.

No transmissor, conforme mostrado na figura 35, o sinal de entrada de alta velocidade será demultiplexado em  $N$  ramos. Depois disso, ele será modulado pelo mesmo conjunto de sinal ou conforme necessário. Os ramos modulados subsequentes são submetidos a amostras para fornecer  $N$  cópias. Os dados de amostras serão enviados por meio do conjunto de filtros de síntese  $g_k(n)$ ,  $k = 0, 1, \dots, N-1$ . Em seguida, para produzir o sinal transmitido,  $s(n)$ , a saída de todos os filtros será somada. (IBRAHIM, 2017).

No receptor, conforme mostrado na figura 36, para dar  $N$  sub-portadoras de diferentes frequências centrais, o sinal recebido  $r(n)$  será passado para o banco de filtros de análise  $f_k(n)$ ,  $k = 0, 1, \dots, N-1$ . O sinal em cada ramo irá ser reduzido por  $N$ , demodulado e multiplexado para produzir a estimativa do sinal original  $X_r(n)$ . (IBRAHIM, 2017).

Figura 35 – Sistema de Transmissão FBMC

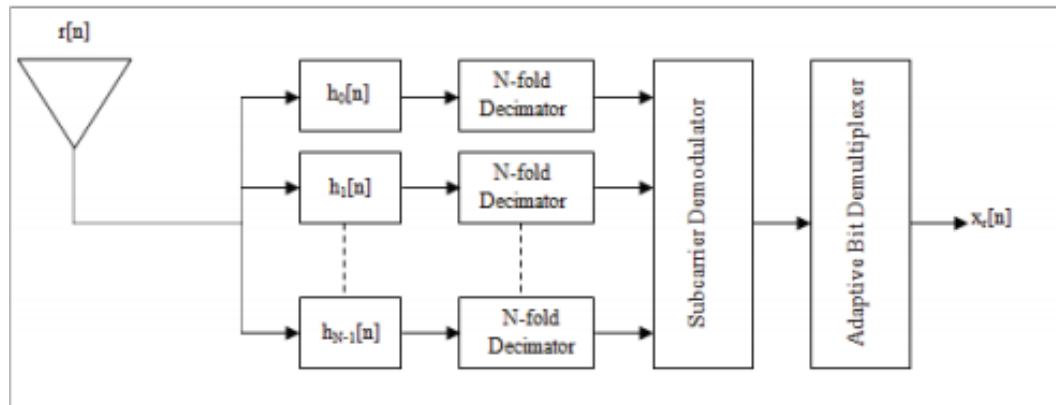


Fonte: LOPES, 2016.

Tradução: Adaptive Bit Demultiplexer = Demultiplexador Adaptativo Bit; Subcarrier Modulator = Modulador de subportadora; N-fold Expander = Expansor de onda  $N$ ; Adder = Adicionador.



Figura 36 – Sistema de Recepção FBMC



Fonte: LOPES, 2016.

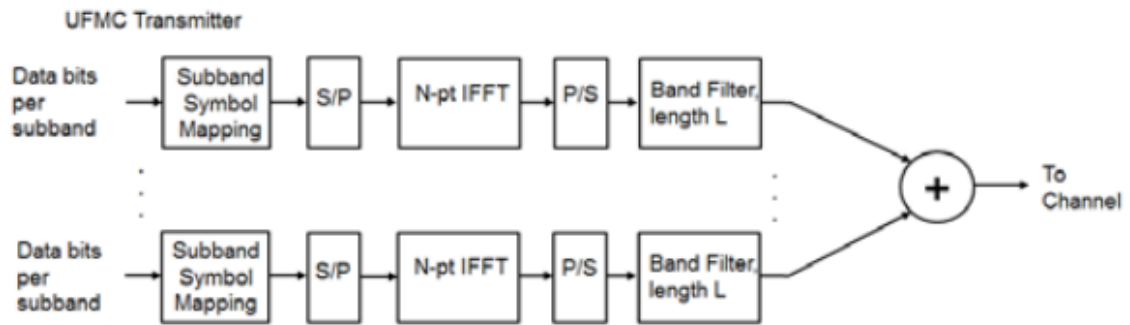
Tradução: Adaptive Bit Demultiplexer = Demultiplexador Adaptativo Bit; Subcarrier Demodulator = Demodulador subportadora; N-Fold Decimator = Decimador de onda N.

### 2.6.5.3 Universal Filtered Multi-Carrier (UFMC)

Como aponta (MATHWORKS, s.d) o sistema UFMC é visto como uma generalização das modulações de OFDM e FBMC. Toda a banda é filtrada em OFDM e as sub-portadoras individuais são filtradas no FBMC, enquanto grupos de sub-portadoras (sub-bandas) passam a ser filtradas na UFMC. Este agrupamento de sub-portadoras permite reduzir o comprimento do filtro (quando comparado com o FBMC). Além disso, a UFMC ainda pode usar o QAM, pois mantém a ortogonalidade complexa (quando comparada com a FBMC), que trabalha com os esquemas MIMO existentes.

Neste tipo de modulação de acordo com (MATHWORKS, s.d.) cada banda completa de sub-portadoras denominadas por (N) é que são divididas em sub-bandas. Cada sub-banda tem um número fixo de sub-portadoras e nem todas as sub-bandas precisam ser empregadas para uma determinada transmissão. A realização do N-pt IFFT para cada sub-banda é computada, inserindo zeros para as transportadoras não são alocadas. Cada sub-banda é filtrada por um filtro de comprimento L, e as respostas das diferentes sub-bandas são somadas. A filtragem é feita para reduzir as emissões espectrais fora da banda, que possuem filtros diferentes por cada sub-banda que podem ser aplicados, no entanto, neste exemplo (figura 37), o mesmo filtro é usado para cada sub-banda.

Figura 37 – Sistema de transmissão UFMC

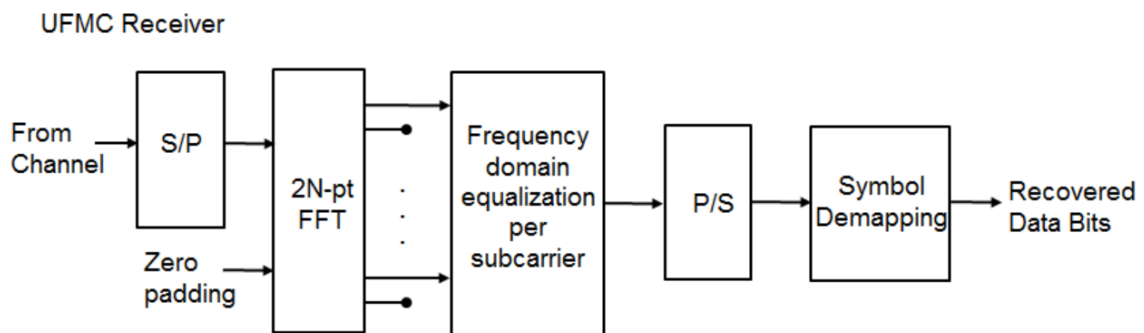


Fonte: MATHWORKS, (s.d.).

Tradução: Data bits per subband = Dados em bits por sub-banda; Subband Symbol Mapping = Mapeamento de símbolo de sub-banda; Band Filter length L = Comprimento do filtro de banda L.

Já na recepção o UFMC é baseado em FFT como aponta (MATHWORKS, s.d.) e a filtragem da sub-banda estende a janela de tempo de recepção para o próximo comprimento de potência de dois para a operação FFT, tendo cada valor de frequência alternativa correspondendo a uma pequena parte principal da sub-portadora. A seguir temos a figura 38 que representa este processo.

Figura 38 – Sistema de Recepção UFMC



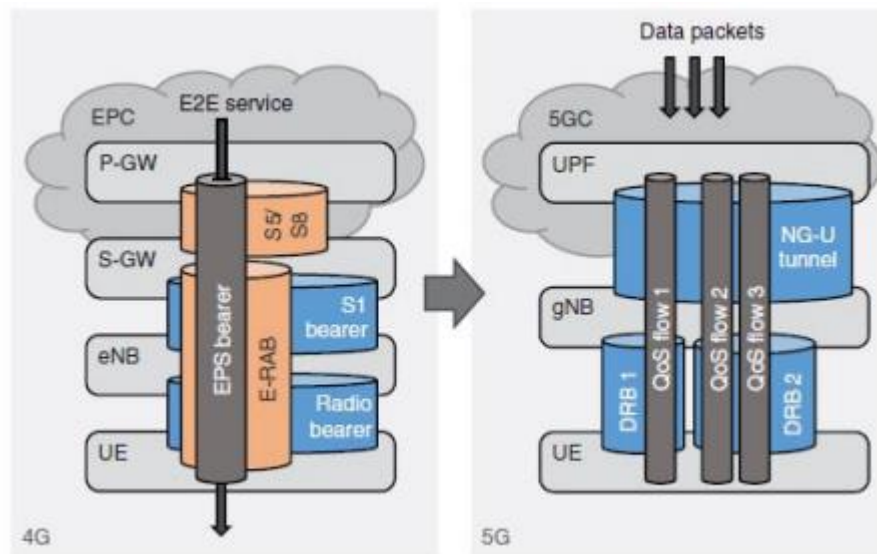
Fonte: MATHWORKS, (s. d.).

Tradução: UFMC Receiver= Receptor UFMC; From Channel = “Do” Canal; Frequency domain equalization per subcarrier from channel = Equalização do domínio da frequência por subportadora por canal; Symbol Demapping = Desmapeamento do símbolo ; Recovered Data Bits = Bits de dados recebidos

### 2.6.6 Qualidade de Serviço - QoS

Nas palavras de (MATAJ, 2020) o 5G promete oferecer diversos recursos de alta eficiência que consigam atender serviços em tempo real com a menor latência possível. Os recursos que serão utilizados precisam atender aos requisitos de QoS, dentre eles o atraso, taxa de erros e prioridades específicas. Ao contrário do LTE ou 4G, no 5G o QoS passa a ser baseado em fluxo (flow) ao invés de Rádio Portadora, representado na figura 39.

Figura 39 - Fluxos QoS no 4G e 5G



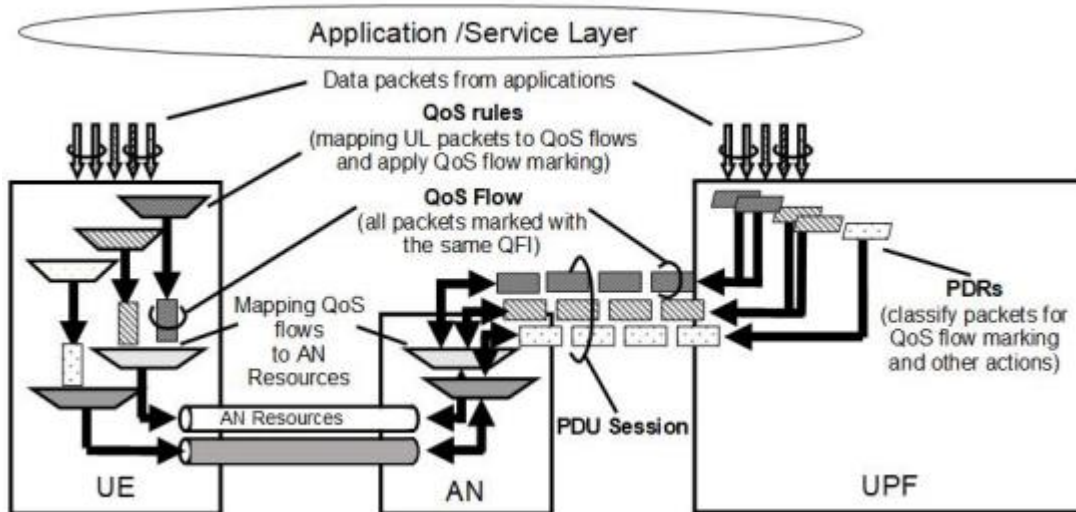
Fonte: MATAJ, 2020

Tradução: Radio bearer = Rádio Portadora; NG-U tunnel = Túnel NG-U, Data Packets = Pacote de dados.

É caracterizado por (MATAJ, 2020) que os Fluxos de QoS são identificados por ID de fluxo de QoS chamado de QFI (QoS Flow ID) na rede que deve ser único dentro da PDU. Cada Fluxo de QoS é definido pelo seu perfil QoS, regras de QoS e regras de detecção de pacotes UL / DL (PDRs).

- O Perfil de QoS onde estão os de QoS que determinam os requisitos da Camada Física em termos de orçamento de atraso e perda de pacotes.
- As regras de QoS contêm o QFI do fluxo de QoS associado, é responsável por mapear o tráfego de IP entre os fluxos de QoS;
- Regras de Detecção de Pacotes UL / DL (Packet Detection Rules PDRs) contém filtros de pacotes exigidos pelo plano do usuário Função (UPF) para mapear e marcar os pacotes em fluxos QoS na direção UL e DL.

Figura 40 – Mapeamento dos Fluxos de QoS no 5G.



Fonte: MATAJ, 2020

Tradução: Data packets from applications = Pacotes de Dados de Aplicativos; Mapping UL packets to QoS flows and apply QoS flow marking = Mapeamento de pacotes UL para fluxo de QoS e aplicação de marcação do fluxo de QoS; all packets marked with the same QFI = Todos os pacotes marcados com o mesmo QFI; Mapping QoS flow to AN resources = Mapeamento do fluxo de QoS para AN recursos; Classify packets for QoS flow marking and other actions = Classificador de pacotes para marcação do fluxo de QoS e outras ações.

Os fluxos de QoS são identificados por um ID de fluxo de QoS (QFI) na rede, que deve ser exclusivo em uma sessão de unidade de dados de pacote (PDU) e é transportado em um cabeçalho de encapsulamento no túnel N3 (interface UPF-gNB) do 5G. Um fluxo de QoS pode ser mapeado para um ou mais Rádios de Dados Portador (DRBs) que têm os mesmos requisitos de QoS (Figura 40). (MATAJ, 2020).

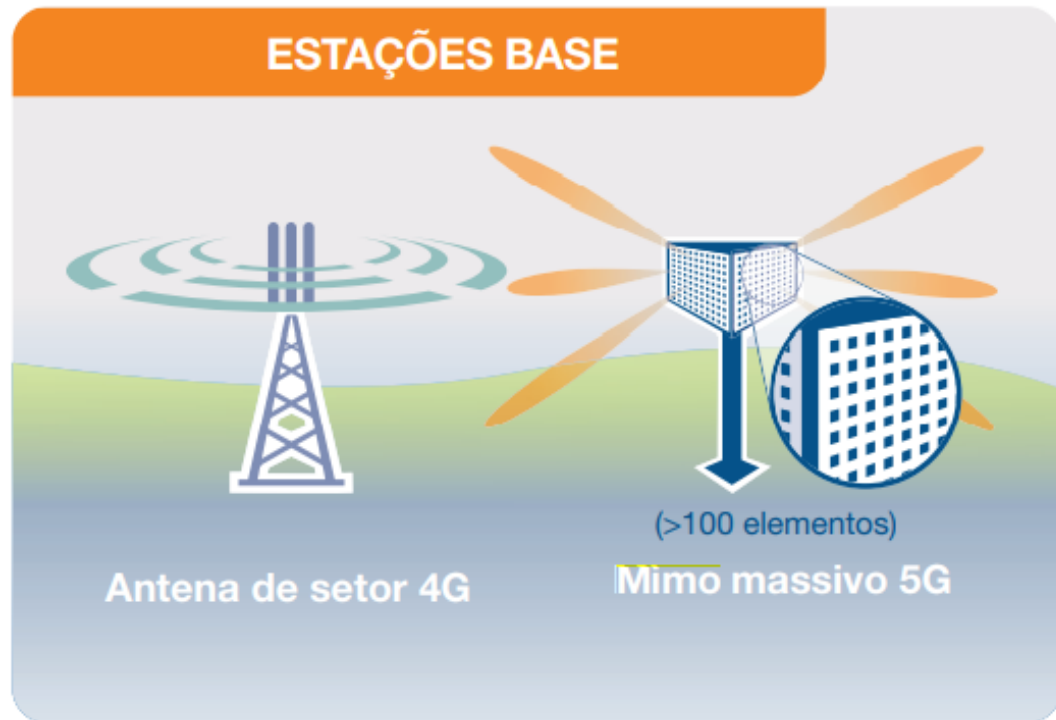
### 2.6.7 Maciço MIMO (mMIMO)

Os sistemas mMIMO também são conhecidos como sistemas de antena de grande escala, MIMO muito grande, hiper-MIMO e MIMO de dimensão total. (PANWAR, 2015).

Sua característica está no arranjo de antenas que podem possuir diversos elementos (antenas menores) como mostra a figura 41, que são dispostas entre MBS (Macrocell Base-Station) que servem simultaneamente a muitos UEs com uma única antena, mesmo com tempo e frequências idênticas. Este sistema tem um preço elevado, devido ao custo dos equipamentos que precisam ter em cada MBS e por depender também da multiplexação espacial, que depende dos canais de cada MBS de UL e DL. Porém seus benefícios são bons, pois reduz significativamente a latência e tem o consumo de energia mais eficiente. (PANWAR, 2015).

De acordo com (EMF Explained, s.d.) o tamanho das antenas MIMO massivas do 5G será similar ao do 4G, porém conseguindo alcançar uma frequência mais alta, isso devido ao tamanho dos elementos individuais da antena serem menor, o que vai permitir mais elementos (mais de 100) na mesma antena, como pode ser observado na figura 41.

Figura 41 – Estação base de setor 4G e estação base 5G com o arranjo de novas antenas.



Fonte: EMF Explained, (s. d.).

Segundo a (Qualcomm, 2019) o Maciço MIMO é um atenuador das grandes taxas de dados do 5G e promete elevar o 5G a um nível ainda melhor. E alguns dos principais benefícios para a rede e usuários podem ser resumidos em:

- Aumento da Capacidade da Rede: O Maciço MIMO contribui para o aumento da capacidade, permitindo a implantação do 5G NR na faixa de frequência mais alta em Sub-6 GHz (por exemplo, 3,5 GHz). (Qualcomm, 2019)
- Cobertura Melhorada: Com maciço mimo, os usuários desfrutam de uma experiência mais uniforme em toda a rede, mesmo na borda do celular – para que os usuários possam esperar um serviço de alta taxa de dados em quase todos os lugares. (Qualcomm, 2019)
- Experiência do usuário: Em última análise, os dois benefícios acima resultam em uma melhor experiência geral do usuário. (Qualcomm, 2019)

### **2.6.8 Frequência**

Com base em (TELECO, 2020) o 5G utilizará a agregação de portadoras que vai permitir a alocação dinâmica das frequências. As que já estão definidas pela ITU 2019 (WRC 19) são as 700MHz - 800MHz, 900MHz, 1700/1800 MHz, 1900/200MHz e 2500MHz.

### **2.6.9 Aplicações para o 5G**

A tecnologia 5G foi desenhada com um único objetivo, conseguir oferecer e permitir que pessoas tenham acessos a diversos serviços cada vez mais de forma rápida e eficiente. Teremos várias oportunidades de evolução em diversas áreas de negócios e serviços que o 5G promoverá.

Pode-se destacar o artigo do blog (TOTVS,2020) empresa de ERP (Enterprise Resource Planning), que indica os segmentos e/ou áreas de negócios que poderão ser mais beneficiados com o 5G.

- Logística: Melhor planejamento e monitoramento do setor de logística, resultando em maior velocidade e segurança, evitando atraso nas entregas;
- Telefonia: Chamadas de vídeo on-line ou videoconferências mais estáveis e de maior qualidade;
- Agronegócio: A automação e monitoramento das áreas rurais que resultarão em uma melhor produtividade;
- Saúde: Monitorar pacientes a distância. Este segmento também abre a oportunidade até para procedimentos cirúrgicos a distância.

### **3 Desenvolvimento do Projeto**

#### **3.1 Tecnologia no mundo**

As redes 5G vem sendo implementadas em diversos países, o primeiro a implementar tal tecnologia foi a Coreia do Sul em 2019 trazendo consigo o incentivo para que outros países implementassem também. Segundo dados da (5GAMERICAS, 2021), que realiza um levantamento de redes comerciais 4G e 5G ao redor do mundo, que atendem aos padrões estabelecidos pelo 3GPP, os dados são classificados por continente. Tem-se que atualmente o continente que mais possui redes 5G implementadas é o continente Europeu com aproximadamente 82 antenas, seguido por Asia com 36, Oriente Médio com 20, América Latina com 13, Estados Unidos da América e Canadá com 10, Oceania com 7 e África com 4. Quando paramos para observar de forma crua o número referente a implementação de antenas, concluir-se que países que possuem tecnologias mais avançadas e uma possibilidade de investimento maior, saem bem à frente dos demais.

Um dado importante a ser observado é que na América Latina há um total de 13 redes comerciais tendo a Argentina com 1 sendo fornecida pela empresa Telecom Personal, Brasil com 2 sendo estas fornecidas uma pela Claro Brasil e outra pela Telefônica Brasil, Colômbia com 1 de propriedade da Direct Tv, Peru com duas das seguintes empresas 1 da Claro Peru e outra da Entel Peru, Porto Rico com 2 uma pela Liberty Mobile PR e T-Mobile Porto Rico, Suriname com 1 da empresa Telesur, Uruguai com 1 da Antel e por último Virgin Islands (U.S) pelas empresas T-Mobile e Liberty Mobile VI. Com isso observa-se que as redes 5G vem sendo implementadas de forma lenta em países da América Latina.

Quando observamos o Brasil, a implementação passa por uma 5G do tipo DSS, que faz o compartilhamento dinâmico do espectro, porém este tipo de acesso se trata de uma melhoria no dinamismo da rede 4G, com uma frequência única. Muito se discute no Brasil, a respeito da entrega desta tecnologia como 5G, tendo em vista que ainda não foi realizado o leilão das faixas de frequências que serão utilizadas para o 5G, o que é propagado como 5G por algumas prestadoras, na verdade é um 4G melhorado.

No Brasil no momento, o que impede a implementação do 5G é o fato de que ainda não foram leiloadas as faixas de frequências a serem utilizadas, tal leilão dever ser realizado pela Anatel, conhecido como o Leilão do 5G, tem-se a expectativa de sua realização até o fim do ano de 2021, e ao que tudo indica só a partir de 2022 será possível vivenciar a experiência de tudo que o 5G poderá proporcionar.

## **3.2 Comparação entre o 4G e 5G**

É nítido perceber que as evoluções ao decorrer do tempo trouxeram inúmeras melhorias para os serviços de telecomunicações, este tópico tem como intuito comparar as evoluções do 5G em relação ao 4G que tiveram suas perspectivas expostas no tópico de referencial teórico, onde busca-se trazer uma visão clara do que irá melhorar de uma para a outra.

O primeiro ponto a ser destacado é que ambas são baseadas em IP, o que já possibilita desde o 4G melhorias a respeito de suas antecessoras, ao se tratar de assuntos referentes ao QoS e acesso à internet de forma mais rápida dentre outras.

A seguir, serão destacados pontos referentes a evoluções de arquitetura, multiplexação e modulação, QoS e MIMO, onde serão apontadas as principais mudanças de uma geração para a outra.

### **3.2.1 Comparação de elementos da arquitetura**

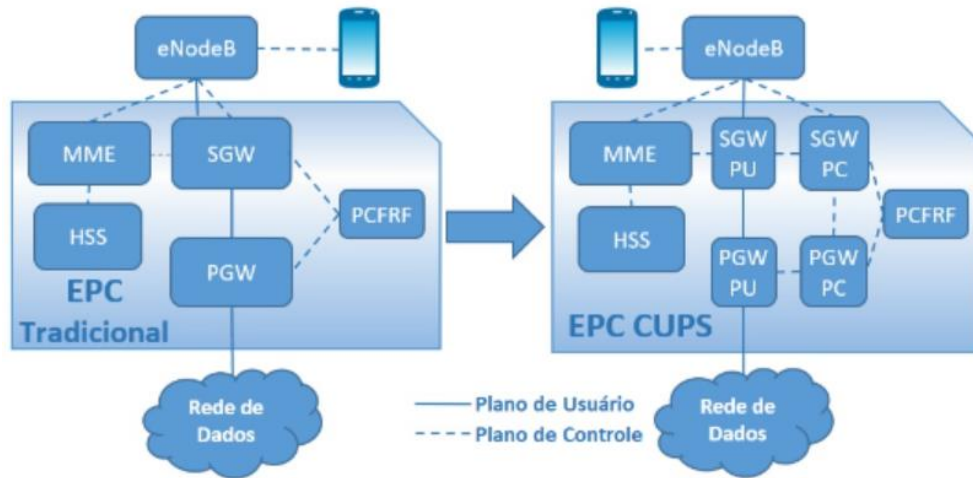
Pode-se colocar como mudança na evolução da arquitetura do 4G para o 5G, a alteração de alguns elementos e adição de outros elementos que tem como intuito otimizar a rede. A principal mudança do 5G é na sua rede core, que no 4G sendo o EPC, traz consigo melhorias a respeito de flexibilidade e escalabilidade proporcionando a coexistência com LTE e as futuras tecnologias móveis.

Uma mudança nítida está quando tratados os pontos a respeito de plano de usuário e controle de usuário. No EPC tem-se dois elementos que tratam a respeito de tal assunto sendo eles o S-GW, que tem como atribuição atividades a respeito à mobilidade entre redes, processo de tarifação e cobrança de chamadas. Enquanto o P-GW, realiza a conectividade entre a rede E-UTRAN e as redes externas, alocação de endereço IP para cada UE, tarifação, atribuição de recursos e implementação de políticas de tráfego perante regras definidas pelo operador em respeito a atribuição e utilização de recursos, conforme descrito no item 2.5.3.2

O EPC no 5G traz uma evolução e otimização da estrutura usada no 4G, sendo criada a variação CUPS, onde cada elemento PG-W e SG-W passam a ser divididos em cada um para o plano de usuário PGW-U e SGW-U, e plano de controle PGW-C e SGW-C. Deixando a estrutura mais flexível e melhorando o desempenho, uma vez que a exemplo do plano de usuário tem um posicionamento e gerenciamento otimizado dos recursos, de acordo com o apresentado no item 2.6.4.1.1. A figura 42 mostra esta comparação entre o EPC CUPS para o 5G e o EPC tradicional do 4G.



Figura 42 – EPC 4G (Tradicional) X EPC CUPS 5G



Fonte: OLIVEIRA, 2018.

Uma outra mudança está presente na interface de rádio, onde no 4G é dada pelo E-UTRAN que possui o elemento eNodeB, que realiza o controle da interface RF entre a rede EPC e o UE, tendo como funções o gerenciamento de recursos, controle de admissão, controle de mobilidade entre outras funções. O eNodeB tem suas conexões realizadas por meio de uma interface X2 e suas informações, após coletadas, são passadas por meio de uma interface S1 para a rede EPC.

Para o 5G a estrutura da RAN é transformada para C-RAN (Cloud ou Centralizada RAN) onde os recursos são centralizados nos processamentos da banda base (BBU) responsável pela ligação com EPC, e compartilhado entre as EBRs. É utilizado também a virtualização para as funcionalidades não críticas e as demais são mantidas na estrutura da física.

### 3.2.2 Comparação Multiplexação e Modulação

Quando falamos de acesso múltiplo, o LTE tem sua base consolidada perante o modelo OFDM, onde são utilizadas múltiplas subportadoras espaçadas ortogonalmente entre si, explicação mais detalhada está presente no item 2.5.4. Neste contexto, para que seja combatido a interferência intersimbólica, que ocorre devido ao atraso provocado pelo multipercurso, sendo este atraso superior à duração do símbolo, perante a isso são adicionados intervalos de guarda, que podem ser denominados de CP, onde tem intuito de aumentar o tamanho do bloco.

Para o modelo 5G, são adotadas outras técnicas de sub-portadoras como o GDFM, FBMC e UFMC. No GDFM o que se difere do OFDM é na flexibilidade da escolha do formato dos pulsos e a sua não-ortogonalidade, podendo ser deslocados circularmente com a formação

espectral individualizadas de cada sub-portadora, além de possuir uma função de cancelamento de interferências (IC) que gera um aumento significativo na performance da recepção do sinal no GFDM. Para o FBMC a diferença está na utilização dos filtros no lugar do CP que tem por objetivo gerar melhor eficiência espectral do que o OFDM. E por fim o UFMC faz uma junção do OFMC e FBMC, combinando as vantagens que cada uma tem, onde as sub-bandas são tratadas pela UFMC, as sub-portadoras pela FBMC e toda banda pela OFMC.

### **3.2.3 Comparação de QoS**

Como definido no 2.5.4.4, para o LTE se tem uma definição de QoS 1 para 1, onde um fluxo de dados receberá um identificador de classe (QCI), onde perante o valor do QCI o mesmo, é responsável pelo tratamento referente ao plano de usuário, e juntamente ao APR, destinado ao controle de usuário, serão tomadas as providências a respeito de QoS.

A definição do QoS para o 5G é totalmente baseada em fluxos, onde são mapeados para as rádios portadoras e flexíveis, diferentemente do QoS no LTE que fica restringido de um-para-um EPS Portadora.

### **3.2.4 Comparação MIMO**

Quando se trata de MIMO, o LTE proporcionou mudanças de três principais formas, sendo elas o ganho na multiplexação espacial que explora pontos a respeito do multipercurso com o intuito de utilizar isso a favor do usuário, ganho em diversidade espacial que emprega o conceito de transmitir o mesmo dado por antenas distintas e vantagens quanto ao arranjo de antenas que trazem consigo uma maior confiabilidade e diminuição da interferência. A partir do LTE Advanced foram empregados modelos de 8x8 para downlink e 4x4 para o uplink, onde o primeiro valor é referente a antenas transmissoras e o segundo a antenas receptoras, proporcionando assim uma maneira ainda mais eficiente em atender e dedicar canais a usuários.

No 5G o MIMO passa por uma evolução em sua estrutura e a ser chamado de maciço ou massive MIMO (mMIMO), onde a sua maior diferença com a versão MIMO do 4G é na configuração de suas antenas onde há uma diminuição do tamanho dos elementos individuais que compõe a antena o que proporciona uma quantidade maior de elementos que poderá conter em uma mesma antena, ou seja, um arranjo bem robusto. O benefício dessa estrutura é que será possível ter mais conexões simultaneamente com um alto rendimento.

### 3.3 Apresentação dos dados referentes a pesquisas

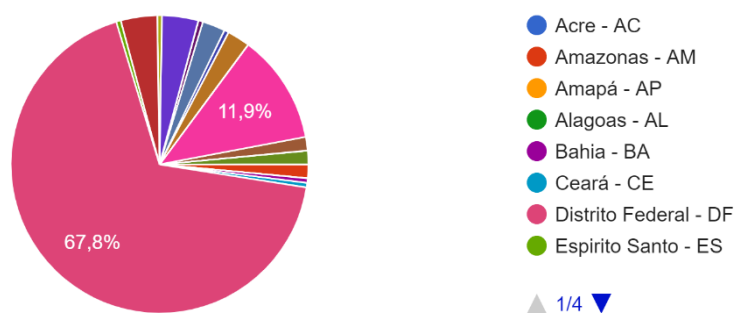
A pesquisa teve como intuito trazer uma visão do usuário a respeito da tecnologia 5G, tais usuários são da população de forma geral, sem fazer distinção de grau de instrução ou classe social, foram destacadas as perguntas referentes a Figura 43, sendo elas Figura 43(i) e Figura 43(j), as demais perguntas não foram utilizadas na análise ficando a título de registro. A quantidade de amostras obtidas por meio deste formulário foi de 210 respostas, onde apenas 31% das pessoas afirmaram não saber o que é o 5G, como é possível analisar pela Figura 43(i). Um outro ponto a ser destacado é a respeito da percepção de velocidade de conexão, que o 5G traz consigo uma proposta de conexões ultrarrápidas e com baixo tempo de latência. O 5G traz uma proposta de maior estabilidade da rede onde graças a técnicas de mMimo e ondas milimétricas, onde se tem uma maior quantidade de antenas que podem atender a um usuário, o que tende a deixar a conexão mais estável.

Foi realizado também um levantamento, com esta mesma pesquisa, de o que as pessoas em suas concepções o 5G poderá proporcionar, mostrada na Figura 43(j). Com isso, foi possível analisar que 70 pessoas, acreditam que trará uma conexão de downlink e uplink melhor onde também estão inclusos casos de melhor conexão, 8 pessoas falaram a respeito de uma maior cobertura e 5 falaram a respeito de uma melhor qualidade do serviço. Porém 22 pessoas tiveram suas respostas colocadas fora do escopo previsto, muitas elencaram pontos como, que terá uma diferença em relação a redes antecessoras e que não possuem conhecimento a respeito do assunto.

Figura 43 – Perguntas e Resultados do Formulário

Qual o Estado (UF) que você reside?

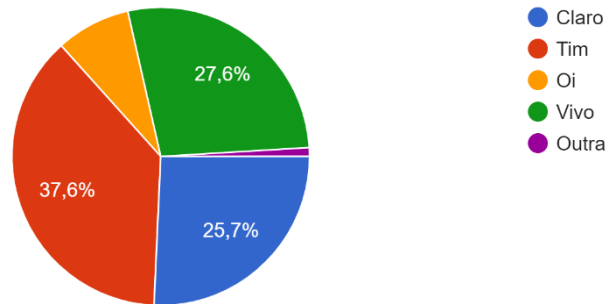
202 respostas



(a)

Qual operadora você utiliza atualmente?

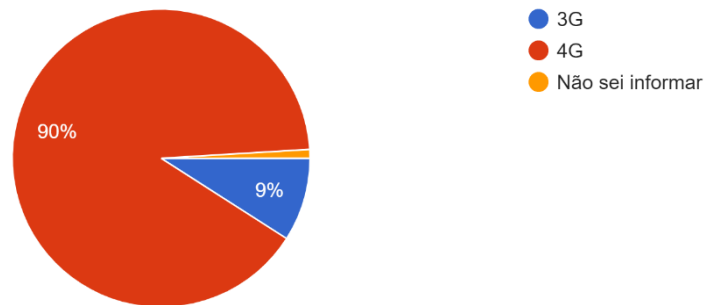
210 respostas



(b)

Onde você mora, fica mais conectado no 3G ou 4G?

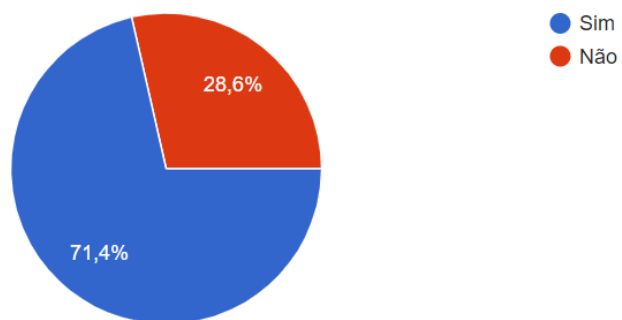
210 respostas



(c)

Você está satisfeito com seu plano de internet móvel atual?

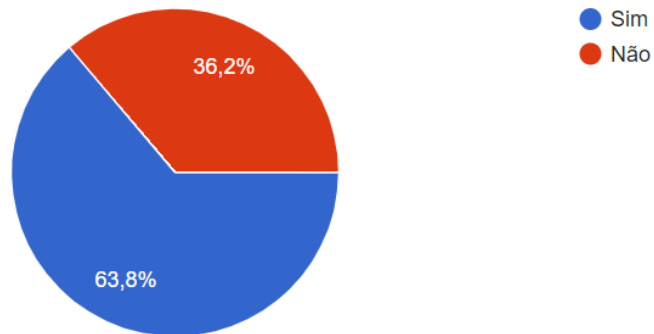
210 respostas



(d)

Você sente que sua conexão móvel é rápida?

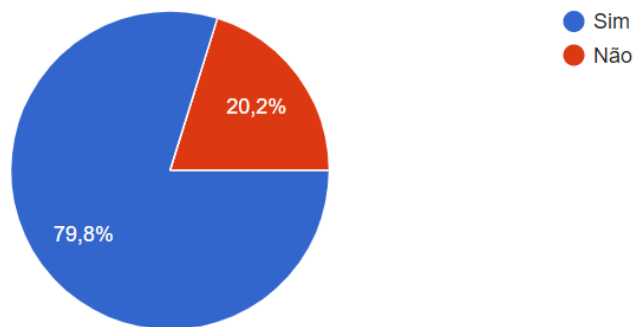
210 respostas



(e)

Sua conexão móvel atual, atende as suas necessidades diárias?

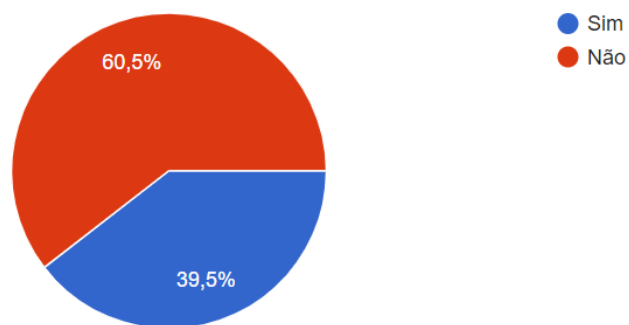
208 respostas



(f)

Ocorrem quedas de sinal ou conexão com muita frequência?

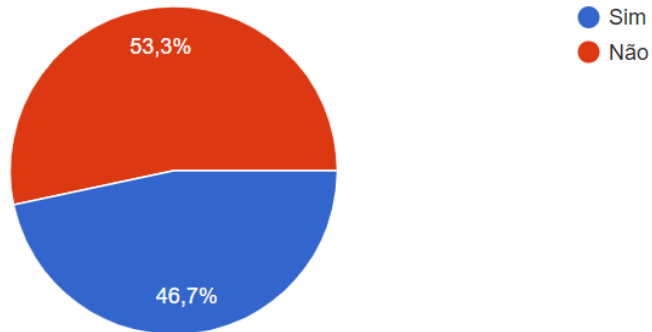
210 respostas



(g)

Você acha que paga um preço justo pelo que te entregam?

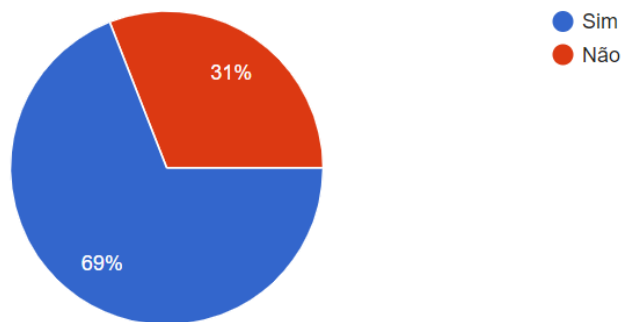
210 respostas



(h)

Você sabe o que é o 5G?

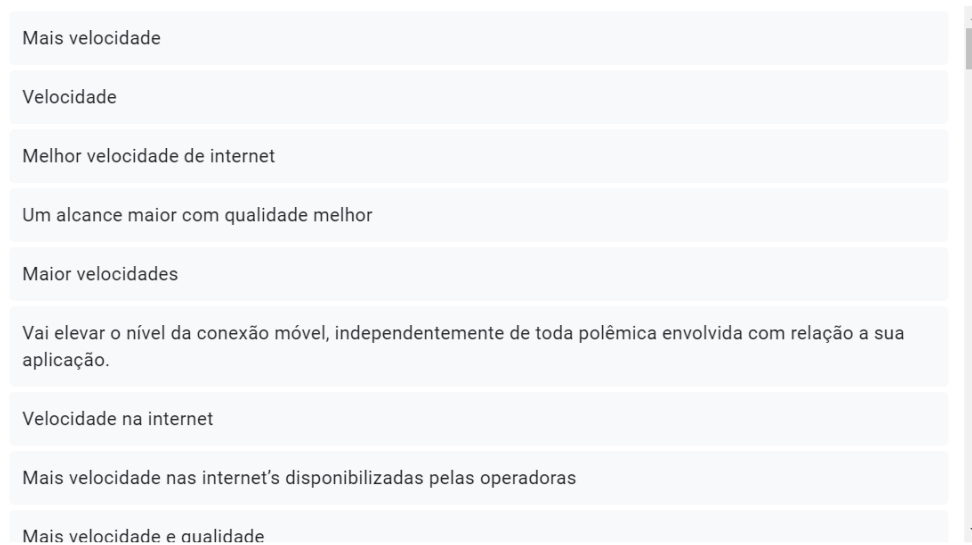
210 respostas



(i)

Na sua concepção o que acha que o 5G pode trazer diferente? (Não é obrigatória)

116 respostas



(j)

## 4 IOT e 5G

Com a implantação do 5G, o IOT tende a ser potencializado, devido as características que o 5G oferece, como por exemplo maior taxa de download e upload, uma baixa latência, ondas milimétricas, mMIMO. Pode-se ter como exemplo que 5 aplicações serão beneficiadas, sendo elas as cidades inteligentes, casas inteligentes, realidade virtual, realidade aumentada, automação industrial e carros autônomos. A seguir serão expostos pontos de como o 5G beneficiará estas tecnologias.

- **Carros Conectados e Carros Autônomos**

Com a implantação o 5G, espera-se que a comunicação V2V (Vehicle-to-Vehicle) e a V2I (Vehicle-to-Infrastructure), sejam desenvolvidas de uma melhor forma. Segundo (SILVA, 2021), essas comunicações são empregadas com o intuito de prevenir acidentes e auxiliar o motorista, isso ocorre por meio do compartilhamento de dados, em uma região que abranja o raio de cobertura do veículo, onde tem o intuito de que os dados recebidos auxiliem na tomada de decisão. A junção destas duas comunicações pode ser denominada de sistema de transporte cooperativo inteligente, onde além de realizar a conexão dos veículos, é possível auxiliar no gerenciamento de tráfego. O 5G, entra como um meio facilitador pois, entrega latências baixas e altas taxas de conexão, fazendo com que a disponibilidade das informações ocorra de forma rápida.

- **Cidades inteligentes e Casas Inteligentes**

As cidades inteligentes são o grande passo para as cidades do futuro, totalmente tecnológicas e interconectadas, e que tem como objetivo tornar os serviços mais eficientes para a população com o uso das tecnologias móveis e a IoT. A ideia é coletar dados de tudo, por exemplo como identificar princípios de incêndio com o uso de sensores espalhados pela cidade, saber se a iluminação da cidade está correta, acompanhamento de coleta de lixo, o fluxo de pessoas em um determinado local e dentre diversas outras indicações que podem ser medidas e monitoradas com o uso destas tecnologias e assim sendo direcionadas de uma forma mais eficiente para a tomada de decisão. Em termos, para isto, é necessária ter uma tecnologia de telecomunicação que possa aguentar toda a demanda de comunicação entre os dispositivos e rapidez de resposta para que aquele serviço se torne realmente eficiente.

Outro ramo que também fará parte e que em conjunto com as cidades inteligentes pode elevar a qualidade de vida e serviços a um outro patamar é a casa inteligente, onde tudo pode

se adaptar a sua rotina e tudo ao seu controle. Onde toda a casa trabalha interconectada, identificando o momento em que o café deve ser preparado, quando entrar em um cômodo a luz acender e ao sair apagar, identificar de acordo com o seu costume o que está faltando na geladeira e o momento em que estiver chegando em casa.

Dentre tudo isto, o maior benefício que estas tecnologias em conjunto pode proporcionar que é de extrema importante para o mundo é o consumo de energia sustentável.

- **Realidade virtual e Realidade aumentada**

O principal objetivo da realidade virtual e aumentada é poder levar o usuário para um outro lugar sem necessariamente estar lá, ou mesmo ter contato e visualizar objetos a distância. Se hoje temos videochamadas online e streaming de shows ao vivo, pensar em poder estar ou interagir nestas situações a distância pode se tornar mais real ainda e o 5G se tornou a candidata e responsável por impulsionar mais investimentos em serviços desta natureza.

Pode ser citado como exemplo, a Claro que fez um teste do 5G em 2019 no Allianz Parque em São Paulo, onde um dos maestros que se apresentavam no evento não apareceu da forma convencional em que todos somos acostumados, mas sim através de um holograma com imagem e som incrivelmente nítidos e a diferença é que ele estava realmente a 17km dali de acordo com (NISHIDA, 2019) e tudo isto sendo transmitido ao vivo via 5G.

- **Automação Industrial**

Com o advento do 5G, faz com que os passos para serviços industriais automatizados sejam ainda mais próximos. Isso ocorre pois, quando se pensa em automação industrial logo se tem a necessidade de ter uma rede que ofereça altas taxas de transferência e baixa latência, o que hoje pode ser entregue por fibras óticas, porém o 5G traz consigo essas possibilidades dentro de uma rede sem fio.

É possível concluir com isso que se tem uma indústria mais inteligente, pois a comunicação dos serviços será de forma mais rápida o que facilita a utilização de robôs, implementação de realidade virtual, isto pode implicar em uma melhor utilização dos recursos, evitando desperdícios, onde pode ser usado como exemplo a indústria têxtil, outro exemplo é o sistema de produção de papelão da amazon, chamado box on demand, que faz a confecção de caixas sobre medidas para o pedido realizado, trazendo como benefício a economia do material de embalagem e otimização do espaço utilizado para armazenamento.



## 5 Análise dos comparativos

Como comparação geral entre o 3G, 4G, 5G, em destaque na Tabela 2, onde pode-se ver os principais aspectos que diferenciam cada tecnologia e que são os possíveis resultados que poderá chegar até o usuário final, e que por si só já demonstram uma gigantesca diferença entre downlink, uplink, taxa do usuário e latência.

Tabela 2 - Características das tecnologias móveis

<b>Geração</b>	<b>3G</b>	<b>4G</b>	<b>5G</b>
Tecnologia	HSPA+	LTE-Advanced	-
Downlink	21-42 Mbps	1,0 Gbps	20 Gbps
Uplink	7,2-11,5 Mbps	0,5 Gbps	10 Gbps
Taxa de usuário	3 – 6 Mbps	10 Mbps	100 Mbps
Latência (ms)	~30	~10	<1

Fonte: TELECO, 2020.

É possível observar que com a implementação de técnicas, como o MIMO e mMIMO, foi possível alcançar resultados maiores em comparação com suas anteriores. Quando analisamos do ponto de vista técnico, a utilização do OFDM, no 4G, fez com que fosse possível utilizar a largura de banda de forma mais eficiente, onde com o OFDMA é possível o compartilhamento de banda por usuário, mantendo a ortogonalidade entre as subportadoras atendendo tanto o FDD quanto o TDD, está técnica por sua vez aumentou a capacidade de atendimento ao usuário, enquanto no 3G a utilização do DS-CDMA baseada em códigos, fazendo a utilização de técnicas TDD ou FDD, o que tinha uma certa limitação sobre o atendimento de usuários. Quando paramos para analisar os quesitos que envolvem o 5G, a tecnologia busca trazer uma evolução para o uso do espectro e largura de banda, atendendo um maior número de usuários, otimizando e melhorando técnicas com OFDM que é a base do FBMC melhora a eficiência do espectro e o UFMC que reúne a variação de ambas.

Nestes quesitos a nova geração proporcionará, como pode ser observado na tabela 2, uma melhora para serviços a serem oferecidos e aos usuários. Tudo isso gera uma série de benefícios positivos para as tecnologias móveis e proporciona um precedente para a integração com IoT e futuras gerações de tecnologias móveis.

## **6 Conclusão**

### **6.1 Dificuldades e limitações**

Ao decorrer da elaboração desta monografia nos deparamos com diversas formas de abordagens quanto aos temas que utilizamos, algumas bibliografias usam formas diferentes para descrever conceitos, isso acabou muitas vezes fazendo com que houvesse uma discussão entre os integrantes, sobre os mesmos conceitos abordados de forma diferentes, porém, gerando o mesmo resultado.

Além da abordagem diferente entre as bibliografias um dos pontos que podem ser destacados é sobre os conteúdos relacionados ao 5G, que por estar em um período de implantação e não ser ainda uma tecnologia expandida tem-se ainda alguns conceitos não tão bem definidos e muitos como candidatos a estarem presentes em sua composição, e isto por sua vez acaba gerando algumas limitações a respeito de padrões já definidos de gerações passadas.

### **6.2 Estudos Futuros**

Apesar de ainda não se ter uma implementação em massa da tecnologia 5G, alguns países como a China por exemplo, já iniciaram estudos a respeito da tecnologia 6G, onde já se tem um breve avanço em relação a outros países. Pode-se dizer que existe esse avanço, pois em novembro de 2020 o país lançou o primeiro satélite com tecnologia 6G do mundo (G1, 2020).

Esta tecnologia promete trazer melhorias no que diz respeito à eficiência espectral, maior taxa de dados, na casa dos Tbps (Tera bits por segundo), latência até 10 vezes menor, mais inteligência para automação completa, uma precisão na localização geográfica onde se diz que proporcionara erro abaixo de um centímetro e quase 100% de cobertura. Um outro fator que será muito utilizado na tecnologia 6G envolve a utilização de IA (Inteligência Artificial), onde será empregada com o intuito de receber os dados e tomar decisões baseadas em análises destes dados (SANTOS, 2021).

A seguir é possível observar na figura 44 os valores de transmissão que a tecnologia 6G poderá proporcionar.

Figura 44 – Comparação de taxas 5G e futuro 6G

<b>Características</b>	<b>5G</b>	<b>6G</b>
Taxa de dados por usuário	1 Gbps	10 até 100 Gbps
Taxa de download por site	20 Gbps	> 1 Tbps
Latência de <i>U-plane</i>	0.5 ms	< 0.1 ms
Latência de <i>C-plane</i>	10 ms	< 1 ms
Mobilidade	até 500 km/h	até 1000 km/hr
DL eficiência espectral	30 bps/Hz	100 bps/Hz
Frequência de operação	3 - 300 GHz	até 1 THz

Fonte: SANTOS, 2021.

### 6.3 Considerações finais

De forma geral o 5G chegou com uma proposta inovadora e impactante trazendo benefícios superiores quando comparados a evoluções anteriores, onde se tinham limitações já previstas pela tecnologia presente na época.

Porém para tudo isso se tornar uma realidade, uma boa implantação e estrutura capaz de oferecer tudo que o 5G precisa é o diferencial. Cabe aos que estão a frente deste projeto nos países garantir um processo de implantação que atenda as expectativas da tal tecnologia, de forma a oferecer um serviço de alta qualidade ao usuário final.

Para que se tenha uma implantação que atenda aos requisitos que são dispostos na tecnologia, são indispensáveis a implantação do mMimo, técnica de ondas milimétricas que permitirá uma maior taxa de transmissão para downlink e uplink, o QoS baseado em fluxos, RAN Centralizada (C-RAN) e equipamentos próprios onde já possuem empresas totalmente engajadas em produzir toda a estrutura que conseguirá com sucesso atender a demanda que o 5G necessita. Podemos citar as empresas já consolidadas nessa área, como a Huawei, Nokia e Samsung.

Foi possível notar que a implementação de técnicas como CDMA, OFDM, MIMO etc., fez com que houvesse um suporte maior para o desenvolvimento das tecnologias móveis e suas evoluções gerarão ainda mais progresso.

Com as técnicas implantadas no 5G e os benefícios proporcionados por ela, abre precedentes para investimento em diversas áreas e gera o incentivo para melhorias e evoluções em áreas de automação, IA, IoT e dentre outros, pois são serviços que demandam tecnologias eficientes, rápidas transmissões e baixa latência.

## 7 Bibliografia

5GAMERICAS. **5G & LTE DEPLOYMENTS**. 5GAMERICAS, 2021. Disponível em: <<https://www.5gamericas.org/resources/deployments/>>. Acesso em: junho 2021.

AHMED, Ali Mohamed. **QAM 256 - A SPECTRAL EFFICIENCY BOOSTER FOR 5G**. LinkedIn, 2019. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/qam-256-spectral-efficiency-booster-5g-ali-mohamed-ahmed>>. Acesso em: junho 2021.

ALMEIDA, Marcos Antônio. **INTRODUÇÃO AO LTE – LONG TERM EVOLUTION: MULTIPLE INPUT – MULTIPLE OUTPUT (MIMO)**. TELECO, 2012. Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina\\_3.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_3.asp)> Acesso em: abril 2021

AMORIM, RAFAEL MEDEIROS DE. **ESTUDO DE CÓDIGOS NÃO COERENTES PARA SISTEMAS MIMO/OFDM APLICADO AO ENLACE DIRETO LTE**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília, 2009. Disponível em: <[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/894/1/2009\\_RafhaelMedeirosdeAmorim.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/894/1/2009_RafhaelMedeirosdeAmorim.pdf)> Acesso em: maio de 2021

ANATEL. **ESPAÇO 5G**. ANATEL, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G>>. Acesso em: março 2021

CARVALHO, Luiz P. **INTRODUÇÃO A SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES - ABORDAGEM HISTÓRICA**. Grupo GEN, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2730-2/>>. Acesso em: maio 2021

CARDOSO, Miguel Angelo C. **TECNOLOGIA 3G: UMA VISÃO PRÁTICA**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15978>>. Acesso em: abril 2021

CAVALCANTI, F. **COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018.. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154964/>>. Acesso em: março 2021.

CHEN, WAI-KAI. **THE ELECTRICAL ENGINEERING HANDBOOK**. Elsevier Academic Press, único, 2004.

EMF Explained. **O IMPACTO DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL E NO MUNDO**. EMF Explained, [s.d]. Disponível em: <<http://www.emfexplained.info/por/?id=25916#What%20will%205G%20devices%20offer>>. Acesso em: maio 2021.

FERREIRA, João Luiz Reis. **MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO, 2008. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/joao\\_luiz/index.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/joao_luiz/index.html)>. Acesso em: maio 2021.

FUKUDA, Rafael Masashi. **SISTEMA DE COMUNICAÇÃO OFDM: DA FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL À IMPLEMENTAÇÃO EM PLATAFORMA DSP**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, LONDRINA, 2016. Disponível em: <[http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016\\_RafaelMasashiFukuda.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2016_RafaelMasashiFukuda.pdf)>. Acesso em: junho 2021.

G1. **CHINA COLOCA EM ÓRBITA O PRIMEIRO SATÉLITE COM TECNOLOGIA 6G DO MUNDO**. G1, Brasil, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/tecnologia/noticia/2020/11/10/china-coloca-em-orbita-o-primeiro-satelite-com-tecnologia-6g-do-mundo.ghtml>>. Acesso em: junho 2021.

GASPAR, Danilo Simões. **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMAS GFDM CONSIDERANDO ERROS DE SINCRONIZAÇÃO**. UNIFEI, Itajubá, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/36329>>. Acesso em: maio 2021.

GOLDMAN, David. **WHAT IS 5G?** CNNMoney, New York, 2015. Disponível em: <<https://money.cnn.com/2015/12/04/technology/what-is-5g/>>. Acesso em: maio 2021.

GOMES, Paulo. **MODULAÇÃO AM – FM – ANALÓGICO E DIGITAL**. [s.l], 2008. Disponível em: <<http://pgomes.com.br/apostilas.php?id=7>>. Acesso em: abril 2021.

GONÇALVES, João Filipe Eli Aleluia Carrasco. **ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS LTE E LTE-ADVANCED COM BASE EM SIMULADORES**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, [S. l.], 2011. Acesso em: maio 2021

GUEDES, L. C. dos S.; VASCONCELOS, R. R. de. **UMTS, HSPA E LTE**. UFRJ, Rio de Janeiro, [s.1], 2009. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/09\\_1/versao-final/umts/index.html](https://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/index.html)>. Acesso em: abril 2021.

GUTTMAN, Erik; ALI, Irfan. **PATH TO 5G: A CONTROL PLANE PERSPECTIVE**. USA, Vol. 6 1&2, 2018. Disponível em: <[https://www.riverpublishers.com/journal/journal\\_articles/RP\\_Journal\\_2245-800X\\_616.pdf](https://www.riverpublishers.com/journal/journal_articles/RP_Journal_2245-800X_616.pdf)>. Acesso em: junho 2021.

HOSSAIN, Saddam. **5G WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS**. American Journal of Engineering Research (AJER), v.2, 2013. Disponível em: <[https://core.ac.uk/display/25796037?utm\\_source=pdf&utm\\_medium=banner&utm\\_campaign=pdf-decoration-v1](https://core.ac.uk/display/25796037?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1)>. Acesso em: maio 2021.

IBRAHIM, A. N; ABDULLAH, M. F. L.. **THE POTENTIAL OF FBMC OVER OFDM FOR THE FUTURE 5G MOBILE COMMUNICATION TECHNOLOGY**. 2017. Disponível em: <<https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5002019>>. Acesso em: maio 2021.

IGLESIAS, Felipe dos Santos C. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INDICADORES DE INFRAESTRUTURA E CONFIABILIDADE DE REDES MÓVEIS 4G**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. BRASÍLIA. 2014. Disponível em:

<[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8211/1/2014\\_FelipedosSantosCuboIglesias.pdf#page=100&zoom=100,76,113](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8211/1/2014_FelipedosSantosCuboIglesias.pdf#page=100&zoom=100,76,113)>. Acesso em: abril de 2021.

JONES, Dan. **WHAT IS RADIO ACCESS NETWORK?**. Techtarget, 2021. Disponível em: <<https://searchnetworking.techtarget.com/definition/radio-access-network-RAN>>. Acesso em: junho 2021.

MARTRAT, Josep; J. BERNARDOS, Carlos. Et al. **VISION ON SOFTWARE NETWORKS AND 5G NETWORKS**. 5Gppp, v.2, 2017. Disponível em: <<https://5g-ppp.eu/white-papers/>>. Acesso em: junho 2021.

MATAJ, Enida; **NETWORK SLICING AND QOS IN 5G SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON THE MAC LAYER**. 2020. Disponível em: <<https://webthesis.biblio.polito.it/15275/1/tesi.pdf>>. Acesso em: maio 2021.

MATHWORKS. **UFMC VS. OFDM MODULATION**. MATHWORKS, s.d. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/comm/ug/ufmc-vs-ofdm-modulation.html>>. Acesso em: maio 2021

MATTHÉ, Maximilian. **SPACE-TIME CODING FOR GENERALIZED FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING**. 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/260095195\\_Space-Time\\_Coding\\_for\\_Generalized\\_Frequency\\_Division\\_Multiplexing](https://www.researchgate.net/publication/260095195_Space-Time_Coding_for_Generalized_Frequency_Division_Multiplexing)>. Acesso em: maio 2021.

MELO, Adailton T. De; JACIUK, IVAN. **ESTUDO DA TECNOLOGIA LONG TERM EVOLUTION (LTE) E LTE-ADVANCED (4G)**. UNIVERCIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA. 2015. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9186/1/CT\\_COTEL\\_2015\\_2\\_04.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9186/1/CT_COTEL_2015_2_04.pdf)> Acesso em: maio de 2021.

MENDES, Hanna. **ABORDAGEM TEÓRICA DA APLICAÇÃO DE VIRTUALIZAÇÃO DE FUNÇÕES DE REDE NA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO 5G**. UFF, Niterói-RJ, 2019. Disponível em:

<<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/12575/1/TCC%20NFV%20e%205G%20-%20Hanna%20Mendes.pdf>>. Acesso em: maio 2021.

MOREIRA, Martha Miranda. **5G – EVOLUÇÃO, MIMO MASSIVO, BEAMFORMING E FORMA DE ONDA. UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE.** [s.l.], 2018. Disponível em: <[https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/7056/1/Martha\\_Moreira\\_TCC\\_5G.pdf](https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/7056/1/Martha_Moreira_TCC_5G.pdf)> Acesso em: maio de 2021.

MOTA, Tiago Andrade. **REDES 3G E EVOLUÇÃO PARA AS REDES 4G.** Tutoriais Telefonia Celular, TELECO, 2009. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriale4g/default.asp>>. Acesso em: abril 2021.

NETO, Rúben. **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS RÁDIO-FIBRA USANDO SINAIS OFDM E SC-FDMA.** UNIVERSIDADE DO PORTO, [s.l.], 2014. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~ee09113/reports/tese.pdf#page=20&zoom=100,94,230>>. Acesso em: abril 2021.

NETO, Vicente. S. **SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO – SERVIÇOS, MODULAÇÃO E MEIOS DE TRANSMISSÃO.** Editora Saraiva, 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536522098/>>. Acesso em: maio 2021.

NISHIDA, Erika. **COMO FOI O TESTE DA CLARO MOSTRANDO REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA RODANDO COM 5G.** GIZMODO, Brasil, 2019. Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/claro-teste-5g/>>. Acesso em: maio 2021.

NIKOLOFSKI, Daniel Ricardo Ferreira. **A QUARTA GERAÇÃO DAS REDES SEM FIO: BENEFÍCIOS E EVOLUÇÃO.** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [S. l.], 2011. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19998/2/CT\\_TELEINFO\\_XIX\\_2011\\_06.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19998/2/CT_TELEINFO_XIX_2011_06.pdf)>. Acesso em: maio de 2021.

NOGUEIRA, Lídio Cesar; LOPES, Estevan Marcelo. **ESQUEMAS CANDIDATOS PARA CAMADA FÍSICA DE SISTEMAS 5G.** INATEL, 2016. Disponível em: <[https://biblioteca.inatel.br/cict/acervo%20publico/sumarios/Artigos%20de%20TCC/TCC\\_P](https://biblioteca.inatel.br/cict/acervo%20publico/sumarios/Artigos%20de%20TCC/TCC_P)>



os%20Gradua%C3%A7%C3%A3o/SRST-%20Engenharia%20de%20Redes%20e%20Sistemas%20de%20Telecomunica%C3%A7%C3%B5es/2016/TCC\_Esquemas%20candidatos%20para%20camada%20f%C3%ADsica%20de%20sistemas%205G.pdf>. Acesso em: maio 2021.

NOHRBORG, Magdalena. **LTE. 3GPP**, [S,D]. Disponível em: <<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>. Acesso em: maio 2021.

OLIVEIRA, Lidiano A. N.; S. ALENCAR, Marcelo; TERLLIZZIE A. LOPES, Waslon. **EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA DE REDES MÓVEIS RUMO AO 5G**. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, [s.l.], v.8, 2018. Disponível em: <<http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/104>>. Acesso em: junho 2021.

PANWAR, Nisha; SHARMA, Shantanu; SINGH, Awadhesh. **A SURVEY ON 5G: THE NEXT GENERATION OF MOBILE COMMUNICATION**. v.18, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874490715000531>>. Acesso em: maio 2021.

PIROTTI, Rodolfo P.; ZUCCOLOTTO, Marcos. **TRANSMISSÃO DE DADOS ATRAVÉS DE TELEFONIA CELULAR: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA CONEXÃO DE DADOS UTILIZADO GRPS**. Revista Liberato, v.10, 2009. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536522067/>>. Acesso em: abril 2021.

QUEIROZ, André et al. **5G: A 5ª GERAÇÃO DE REDE SEM FIO**. UFRJ. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2015\\_2/5G/arquiteturas.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2015_2/5G/arquiteturas.html)> Acesso em: maio 2021.

SANTOS, Emmanuel G. C. dos. **COMPARAÇÃO ENTRE WIMAX E LTE**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/652/1/CT\\_TELEINFO\\_XIX\\_2011\\_08.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/652/1/CT_TELEINFO_XIX_2011_08.pdf)> Acesso em: abril de 2021.

SANTOS, Leandro de M.; NUNES, Daniel A. **REDES MÓVEIS 6G**. INATEL, 2021. Disponível em: <[https://biblioteca.inatel.br/cict/acervo%20publico/Sumarios/Artigos%20de%20TCC/TCC\\_Pos%20Gradua%C3%A7%C3%A3o/SRST-%20Engenharia%20de%20Redes%20e%20Sistemas%20de%20Telecomunica%C3%A7%C3%B5es/2021/TCC\\_Redes%20M%C3%B3veis%206G.pdf](https://biblioteca.inatel.br/cict/acervo%20publico/Sumarios/Artigos%20de%20TCC/TCC_Pos%20Gradua%C3%A7%C3%A3o/SRST-%20Engenharia%20de%20Redes%20e%20Sistemas%20de%20Telecomunica%C3%A7%C3%B5es/2021/TCC_Redes%20M%C3%B3veis%206G.pdf)> Acesso em: junho de 2021.

SANTOS, Ricardo D. L. **REDES GSM, GRPS, EDGE E UMTS**. UFRJ, 2008. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/ricardo/1\\_1.html](https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/1_1.html)>. Acesso em: abril 2021.

SHUKAIR, Mutaz. **HOW 5G MASSIVE MIMO TRANSFORMS YOUR MOBILE EXPERIENCES**. Qualcomm, 2019. Disponível em: <<https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/06/20/how-5g-massive-mimo-transforms-your-mobile-experiences>>. Acesso em: junho 2021.

SILVA, Edson B. da. **ANÁLISE DE DESEMPENHO DA MODULAÇÃO GFDM EM SISTEMAS MIMO COM TRANSCEPTORES HÍBRIDOS**. UFC, Fortaleza, 2018. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/36329>>. Acesso em: maio 2021.

SILVA, Ítala L. C. S. **DO 1G AO 5G: EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELEFONIA MOVEL**. UFRB, Cruz das Almas, 2016. Disponível em: <[https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com\\_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190327163532\\_2015.2\\_-\\_TCC\\_Itala\\_Liz\\_-\\_Do\\_1g\\_Ao\\_5g\\_Evolucao\\_Das\\_Redes\\_de\\_Telefonia\\_Movel.pdf](https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190327163532_2015.2_-_TCC_Itala_Liz_-_Do_1g_Ao_5g_Evolucao_Das_Redes_de_Telefonia_Movel.pdf)>. Acesso em: março 2021.

SILVA, Michel B. F. da. **COMUNICAÇÃO V2X DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS UTILIZANDO LÓGICA PARACOSISTENTE**. ESCOLA POLITÉCNICA/USP, 2021. Disponível em: <[https://www.unip.br/pesquisa/assets/download/Livro\\_WICS\\_2019.pdf#page=144](https://www.unip.br/pesquisa/assets/download/Livro_WICS_2019.pdf#page=144)> Acesso em: junho de 2021

SILVA, Prof. Dr. Rogerio M. L. **EVOLUÇÃO DAS REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS**. Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, 2017. Disponível em: <<http://www.pecs.uema.br/wp-content/uploads/2017/04/Evolu%C3%A7%C3%A3o-das-redes-de-comunica%C3%A7%C3%B5es-m%C3%B3veis.pdf>>. Acesso em: abril 2021.

SOARES, Vicente. **TELECOMUNICAÇÕES AVANÇADAS - 1ª EDIÇÃO**. Editora Saraiva, 2018. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536528601/>>. Acesso em: maio 2021

SOUZA, Tiago Barros de; GUARDIEIRO, Paulo Roberto. **QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES MÓVEIS DE 4ª GERAÇÃO LTE**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, UBERLÂNDIA, 2012. Disponível em: <[https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2012/ceel2012\\_artigo103\\_r01.pdf](https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2012/ceel2012_artigo103_r01.pdf)> Acesso em: maio 2021.

SVERZUT, J. U. **REDES GMS, GPRS, EDGE E UMTS – EVOLUÇÃO A CAMINHO DA QUARTA GERAÇÃO (4G)**. Editora Saraiva, 2016. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536522067/>>. Acesso em: abril 2021.

TAKEDA, Leonardo Noboru. **EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA MÓVEL ATÉ 2013**. UNESP, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/121522>>. Acesso em: março 2021

TELECO. **5G TECNOLOGIA**. Teleco. 2020. Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/5g\\_tecnologia.asp](https://www.teleco.com.br/5g_tecnologia.asp)>. Acesso em: maio 2021.

TELECO. **TECNOLOGIAS DE CELULAR**. Teleco. 2017. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tecnocel.asp>>. Acesso em: maio 2021.

TOTVS. **O IMPACTO DA TECNOLOGIA 5G NO BRASIL E NO MUNDO**. BLOG TOTVS, 2020. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/inovacoes/tecnologia-5g/>>. Acesso em: junho 2021.

VERIZON. **WHAT ARE RADIO ACCESS NETWORKS AND 5G RAN?**. VERIZON, 2020. Disponível em: <<https://www.verizon.com/about/our-company/5g/5g-radio-access-networks>>. Acesso em: junho 2021.

VINHAL, Matheus Padilha. **EVOLUÇÃO DA TELEFONIA MÓVEL CELULAR, CUMPRIMENTO DE LEIS E ANÁLISE DE MODELOS DE PROPAGAÇÃO.**, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2020. Disponível em:<<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29900/4/EvoluçãoTelefoniaMóvel.pdf>> Acesso em: março 2021.

WANNSTROM, Jeanette. **LTE-Advanced**. 3GPP, 2013. Disponível em: <<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>>. Acesso em: junho 2021.

WILSON, Sarah K.; WILSON, Stephen; BIGLIERI, Ezio. **ACADEMIC PRESS LIBRARY IN MOBILE AND WIRELESS COMMUNICATIONS: TRANSMISSION TECHNIQUES FOR DIGITAL COMMUNICATIONS**. Elsevier, único, 2016.

ZHANG, Zhongshan et al. **FULL DUPLEX TECHNIQUES FOR 5G NETWORKS: SELF-INTERFERENCE CANCELLATION, PROTOCOL DESIGN, AND RELAY SELECTION**. 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7105651>>. Acesso em: maio 2021.