



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**GUILHERME FRANCISCO DE FARIAS**

**5G – REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS DE QUINTA GERAÇÃO:  
EVOLUÇÃO, TECNOLOGIA, APLICAÇÕES E MERCADO**

Palhoça

2019

**GUILHERME FRANCISCO DE FARIAS**

**5G – REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS DE QUINTA GERAÇÃO:  
EVOLUÇÃO, TECNOLOGIA, APLICAÇÕES E MERCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Especialista Glauco de Castro Ligeiro

Palhoça

2019

**GUILHERME FRANCISCO DE FARIAS**

**5G – REDES DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS DE QUINTA GERAÇÃO:  
EVOLUÇÃO, TECNOLOGIA, APLICAÇÕES E MERCADO**

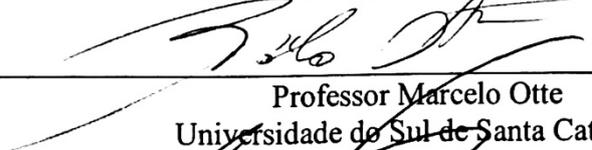
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Palhoça, 04 de julho de 2019.



---

Professor e orientador Glauco Ligeiro  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Professor Marcelo Otte  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Profissional Leandro Pereira  
Universidade do Sul de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Marco Antônio e Erondina, que me deram a vida e tanto se dedicaram para que eu pudesse ser quem sou. Sou grato também aos meus avós, em especial meu avô Francisco, que sempre me apoiou desde o princípio.

À minha noiva Ana Luiza, que sempre me incentivou e mostrou o lado positivo da vida nos momentos difíceis. Obrigado meu amor, essa conquista é nossa.

Ao Professor Glauco Ligeiro, meu orientador, pela dedicação e competência na orientação, e a todos os professores que contribuíram com meu aprendizado.

A todos os meus familiares e amigos, que de alguma forma compartilham e comemoram comigo esta conquista.

## RESUMO

A tecnologia sem fio mudou drasticamente a nossa sociedade e a maneira como nos comunicamos. Os dispositivos móveis evoluíram de uma tecnologia incorporada por um sistema de voz analógico, para uma comunicação baseada em aplicativos, serviços e dados que o ecossistema de internet conseguiu fornecer de forma muito eficiente até o presente. No entanto, com novos casos de uso de banda larga fixa e móvel, comunicações massivas de IoT em cidades e indústrias inteligentes exigindo uma rede ultra confiável e de baixa latência, a rede 5G desponta como um facilitador da transformação digital, trazendo uma completa gama de novas tecnologias que são capazes de proporcionar experiências totalmente inéditas.

Palavras-chave: 5G. IoT. IoT Massivo. LTE. *Network Slicing*. *Beamforming*. Realidade Virtual. Realidade aumentada. 5G Core.

## **ABSTRACT**

Wireless technology has dramatically changed our civilization and the way we communicate. Mobile devices have evolved from an analog voice system technology to a communication based on applications, services, and data that the Internet ecosystem has been able to afford very efficiently until now. However, with new fixed and mobile broadband use cases, massive IoT communications in smart cities and industries requiring an ultra-reliable and low latency network, the 5G network emerges as a facilitator of digital transformation, bringing a full range of new technologies capable of providing totally new experiences.

Keywords: 5G. IoT. Massive IoT. LTE. Network Slicing. Beamforming. Virtual Reality. Augmented Reality. 5G Core.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura simplificada da Rede de Comunicação Móvel Celular.....	15
Figura 2 - Estrutura de RAN no UMTS .....	16
Figura 3 - Arquitetura da rede UMTS.....	16
Figura 4 - Evolução da Comunicação Móvel Celular .....	17
Figura 5 - Arquitetura da rede LTE.....	21
Figura 6 - Cronograma da padronização do 5G .....	23
Figura 7 - Cronograma do 5G .....	24
Figura 8 - Dispositivos conectados no mundo: Projeção 2024 .....	24
Figura 9 – Rede de coisas conectadas .....	25
Figura 10 - Crescimento Dados Móveis por trimestre .....	26
Figura 11 - Aplicações para redes 5G .....	27
Figura 12 - Requisitos chave do IMT-2020 para redes 5G .....	28
Figura 13 - Comparativo principais características redes 4G e 5G.....	28
Figura 14 - Principais casos de uso do 5G .....	29
Figura 15 - Requisitos de largura de banda e latência para aplicações 5G .....	30
Figura 16 - KPIs para cenários de comunicação IOT massivo .....	31
Figura 17 - Tecnologia <i>vehicle-to-everything</i> (V2X).....	33
Figura 18 - Capacidade vs Cobertura considerando o espectro por categoria .....	34
Figura 19 - Visão global dos testes de 5G em termos de espectro.....	35
Figura 20 - Principais objetivos/desejos do plano ambicioso <i>Made In China 2025</i> .....	36
Figura 21 – Possível abordagem para resolver efeito de bloqueio com <i>mmWave</i> .....	40
Figura 22 - Imagem real de um CI de antena milimétrica .....	41
Figura 23 - Técnica de <i>beamforming</i> em 5G comparado ao 4G .....	42
Figura 24 - Representação da transmissão de sinal utilizando técnicas de <i>beamforming</i> com arranjo de antenas <i>array</i> .....	43
Figura 25 - Diferença entre estações base atuais vs 5G massive mimo .....	44
Figura 26 - Número de antenas e capacidade de dados.....	45
Figura 27 - Representação de sistema Massive MIMO .....	46
Figura 28 – Arquitetura 5G SA vs NSA .....	48
Figura 29 - Arquitetura da rede 5G modo SA .....	48
Figura 30 - Arquitetura da rede 5G modo NSA .....	49
Figura 31 - Possível plano de migração para redes 5G .....	50

Figura 32 - Redes 5G subdivididas em redes virtuais otimizada para cada caso de negócio ..	51
Figura 33 - Representação do Network Slicing segundo 5GPPP .....	53
Figura 34 - Ponto de partida para os casos de uso definidos pelo IMT 2020 .....	54
Figura 35 - Previsão de mercado para o FWA .....	56
Figura 36 - Alternativa de implantação de FWA .....	57
Figura 37 - Resultados e principais pontos no teste de FWA com a operadora AT&T .....	58
Figura 38 - Tecnologias chave para dispositivos de IoT massivo.....	59
Figura 39 - Roadmap para o Massive IoT.....	60
Figura 40 - Casos de uso de IoT.....	61
Figura 41 - Infográfico sobre IoT.....	62
Figura 42 - Requisitos diferentes para aplicativos IoT massivos e críticos. ....	68
Figura 43 - Sensores de um veículo autônomo .....	69
Figura 44 - Exemplo de VR e AR.....	71
Figura 45 - Médico chinês realizando primeira cirurgia a distância com 5G .....	73
Figura 46 - Comunicação de missão crítica para IoT e Internet Tátil.....	74
Figura 47 - Ordem de magnitude do tempo de uma reação humana.....	75
Figura 48 - Previsão de atividade econômica através do 5G em 2035 .....	78
Figura 49 - Share de investimentos em 5G por país .....	79
Figura 50 - Infográfico do impacto do 5G .....	80
Figura 51 - Previsão de aumento da receita móvel na América Latina.....	82
Figura 52 - Previsão de crescimento da receita com o IIoT.....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo da rede 3G no padrão UMTS .....	20
Quadro 2 - Comparativo rede 4G pela UMTS .....	22
Quadro 3 - Comparativo do <i>Core Network</i> e RAN em redes 5G.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	Internet of Things
5G	Quinta geração da telefonia móvel
RAN	Radio Access Network
UE	User Equipament
CCC	Central de Comutação e Controle
ERB	Estação Rádio Base
EM	Estação Móvel
HLR	Home Location Register
AUC	Authentication Center
MSC	Mobile Switching Center
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GSM	Global System Mobile
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
eUTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
4G	Quarta geração da telefonia móvel
RNC	Radio Network Controller
MS	Mobile Station
USIM	Universal Subscriber Identity Module
FCC	Federal Communication Comission
1G	Primeira geração da telefonia móvel
NMT	Nordic Mobile Telephony
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
TACS	Total Access Communication System
JTACS	Japan Total Access Communication System
2G	Segunda Geração da telefonia Móvel
TDMA	Time Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
SMS	Short Message Service
GPRS	General Packet Radio Services
2.5G	Segunda Geração e meia da telefonia móvel
EDGE	Enhanced Data Rates for GPRS Evolution

3G	Terceira geração da telefonia móvel
3GPP	Third Generation Partnership Project
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
MIMO	Multiple Input e Multiple Output
LTE	Long Term Evolution
3GPP	Third Generation Partnership Project
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
EPC	Evolved Packet <i>Core</i>
IP	Internet Protocol
NGMN	Next Generation Mobile Network
PER	Packet Error Rate
eMBB	Enhanced mobile broadband
mMTC	massive machine-type communications
URLLC	ultra-reliable and low-latency communications
KPIs	Key Performance Indicator
IOMT	Internet of Medical Things
V2X	Vehicle-to-everything
SNR	Signal-to-noise ratio
5GC	5G Core
QoS	Quality of Service
OTT	Over The Top
MTC	Machine type communication
NB-IoT	NarrowBand IoT
AR	Augmented reality
VR	Virtual Reality
FWA	Fixed wireless access
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CPE	Customer premises equipment
LPWAN	Low Power Wide Area Network
RFID	Radio Frequency Identification

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2.3 Metodologia de Pesquisa</b> .....	<b>13</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 REDE DE COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR .....	14
<b>2.1.1 Core Network</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.2 RAN</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.3 UE</b> .....	<b>16</b>
2.2 EVOLUÇÃO DA COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR .....	17
<b>2.2.1 Primeira geração da comunicação móvel celular (1G)</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.2 Segunda geração da comunicação móvel celular (2G)</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.3 Terceira geração da comunicação móvel celular (3G)</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.4 Quarta geração da comunicação móvel celular (4G)</b> .....	<b>20</b>
2.3 PROCESSO DE PADRONIZAÇÃO DAS REDES MÓVEIS.....	22
2.4 INTERNET OF THINGS (IOT) .....	24
<b>3 A QUINTA GERAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS</b> .....	<b>26</b>
3.1 PILARES DO 5G.....	29
3.2 ESPECTRO.....	33
<b>3.2.1 Ondas milimétricas</b> .....	<b>39</b>
3.3 BEAMFORMING.....	42
3.4 MASSIVE MIMO .....	44
<b>4 ARQUITETURA DA REDE 5G</b> .....	<b>47</b>
4.1 STAND ALONE E NON-STANDALONE.....	47
4.2 NETWORK SLICING .....	50
<b>5 APLICACÕES DA TECNOLOGIA 5G</b> .....	<b>54</b>
5.1 BANDA LARGA.....	55
5.2 IOT MASSIVO .....	58
<b>5.2.1 IoT na agricultura</b> .....	<b>63</b>
<b>5.2.2 IoT na indústria</b> .....	<b>64</b>

<b>5.2.3 IoT na logística .....</b>	<b>65</b>
<b>5.2.4 IoT em <i>utilities</i> .....</b>	<b>66</b>
<b>5.3 APLICAÇÕES CRÍTICAS EM IOT .....</b>	<b>67</b>
<b>5.3.1 Veículos autônomos.....</b>	<b>69</b>
<b>5.3.2 Realidade aumentada e realidade virtual .....</b>	<b>70</b>
<b>5.3.3 Robótica e cirurgias remotas.....</b>	<b>72</b>
<b>5.4 INTERNET TÁTIL.....</b>	<b>74</b>
<b>6 ASPECTOS ECONÔMICOS DAS REDES 5G .....</b>	<b>77</b>
<b>6.1 PERSPECTIVAS GLOBAIS .....</b>	<b>77</b>
<b>6.2 PERSPECTIVAS NA AMÉRICA LATINA E BRASIL.....</b>	<b>81</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço nas comunicações e a crescente conectividade das pessoas e coisas nos últimos anos possibilitaram o surgimento de várias tecnologias, que desde então procuram atender a real necessidade de seus usuários, com a melhor qualidade e velocidade de transmissão de dados possíveis.

A comunicação sem fio vem ganhando espaço considerável nas tecnologias de transmissão de dados, em especial com o advento do IoT (*Internet of things*), que promete uma explosão das mais diversas coisas conectadas à rede. Tendo em vista esse cenário de transformação digital, instituições como fabricantes de *chipset*, equipamentos de redes, associações de tecnologia, governos e operadoras buscam oferecer soluções que facilitem e permitam que essa experiência seja simples e ao mesmo tempo robusta. A cooperação internacional entre estes múltiplos agentes tem produzido um conjunto de especificações técnicas que, além de atender a demanda pela conectividade sem fio com a melhor tecnologia, definem o padrão globalmente adotado pela indústria e países, garantindo escalabilidade dos produtos, plena mobilidade do usuário e interoperabilidade.

As redes de comunicações moveis da quinta geração, ou 5G, tem se colocado como o sistema de comunicação sem fio capaz de suportar todos os desafios dessa nova era. Como será observado nos capítulos a seguir, aplicações críticas como sistemas de transporte autônomo, realidade virtual aumentada e aplicações críticas na área da saúde, exigirão um nível de garantia e qualidade extrema, que nenhum sistema sem fio atual pode fornecer. De acordo com o relatório *Road to 5G Introduction and Migration* (2018) produzido pela GSMA, a quinta geração das redes de comunicação móvel terá como objetivo fornecer vinte vezes a taxa de dados de pico, dez vezes menor latência e três vezes mais eficiência espectral do que a última geração 4G LTE.

Nos capítulos a seguir, será apresentado a evolução da comunicação móvel celular, os requisitos técnicos, tecnologias envolvidas, características e aplicações da quinta geração das redes de comunicação móvel (5G).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Diante da problemática que existem poucos artigos e estudos significativos sobre o tema em português, uma vez que o termo 5G é bastante recente, esta pesquisa apresentará um estudo técnico da rede de comunicação celular 5G com as vantagens em relação às tecnologias anteriores, desafios para a implementação em massa, bem como uma abordagem mercadológica de suas aplicações.

## 1.2 OBJETIVOS

Para validação do tema proposto, foram definidos um objetivo geral e quatro objetivos específicos, apresentados a seguir.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo consistente sobre a tecnologia 5G fazendo uma conexão com a evolução técnica e suas respectivas aplicações e vantagens no mercado.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar conceitos essenciais da comunicação móvel fazendo um comparativo das redes móveis atuais com a tecnologia 5G;
- b) Apresentar detalhes técnicos sobre a tecnologia 5G fazendo uma abordagem das características da rede, seus protocolos e funcionalidades;
- c) Apresentar possíveis aplicações sobre a tecnologia 5G e o impacto da transformação digital numa era de hiperconectividade;
- d) Apresentar um estudo sobre a expectativa de mercado para os próximos anos, volume de negócios e investimentos relacionados à tecnologia 5G.

### 1.2.3 Metodologia de Pesquisa

Foi utilizado o método de pesquisa exploratória de forma qualitativa, através de bases bibliográficas para a coleta de informações, consultas em meios eletrônicos, livros, teses, *white papers*, dissertações, além de artigos científicos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo compreende o embasamento dos conceitos que serão utilizados no desenvolvimento do estudo, para isso aborda a definição de rede de telefonia móvel, evolução da comunicação móvel celular, primeira, segunda, terceira e quarta geração. É abordado ainda o conceito de internet das coisas (IoT), o qual consiste em uma das aplicações que rodam sobre uma rede 5G.

### 2.1 REDE DE COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR

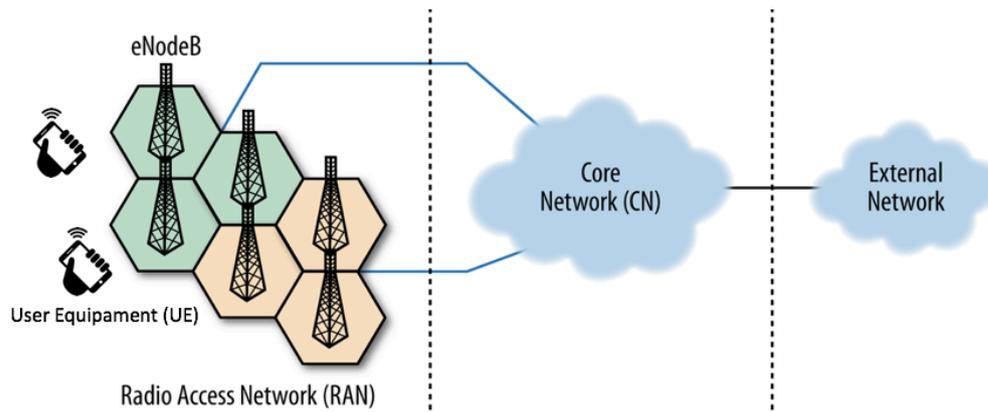
Há diversos registros do que possa ter sido a primeira comunicação móvel utilizando um sistema de telefonia celular. Segundo Rappaport (2009), ainda que de forma rudimentar, em 1897 o italiano Guglielmo Marconi demonstrou a primeira comunicação sem fio quando realizou com sucesso transmissões de sinal de rádio através do Oceano Atlântico.

De acordo com Zaki (2013), um sistema de comunicação de rádio móvel, por definição, consiste em uma infraestrutura de telecomunicações que atende usuários que em tese estão em movimento, ou seja, móveis, mas não necessariamente. A comunicação entre os usuários e a infraestrutura é feita através de um meio sem fio conhecido como canal de rádio.

Desde o primeiro registro de comunicação móvel em 1897, a estrutura da rede móvel mudou consideravelmente. À medida que a demanda pela nova tecnologia aumentava, novos componentes físicos e virtuais foram sendo adicionados à rede com o objetivo de tornar o sistema de telefonia móvel mais confiável e robusto.

Miquelin e Fiori (2012), apresentam a arquitetura da rede de telefonia móvel considerando as últimas gerações com três componentes principais para o seu funcionamento, CN (*Core Network*), RAN (*Radio Access Network*) e UE (*User Equipament*), conforme Figura 1. Ainda que sejam muito similares, a arquitetura nas gerações anteriores tinha outra estrutura que ainda hoje é amplamente conhecida, CCC (Central de Comutação e Controle), ERB (Estação Radio Base) e EM (Estação Móvel).

Figura 1 - Estrutura simplificada da Rede de Comunicação Móvel Celular



Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

### 2.1.1 Core Network

O *Core Network* é o elemento central do sistema de comunicação móvel e a ele são atribuídas como atividades principais a comutação de circuitos, comutação de pacotes, tarifação, sinalização com outras redes e banco de dados, sendo esta última, elemento responsável pelo registro das informações que trafegam pelo núcleo de circuitos e pacotes.

A partir das últimas gerações do sistema de telefonia móvel, novos conceitos como HLR (*Home Location Register*) e AUC (*Authentication Center*) foram introduzidos, ambos mecanismos de armazenamento, identificação e autenticação dos usuários.

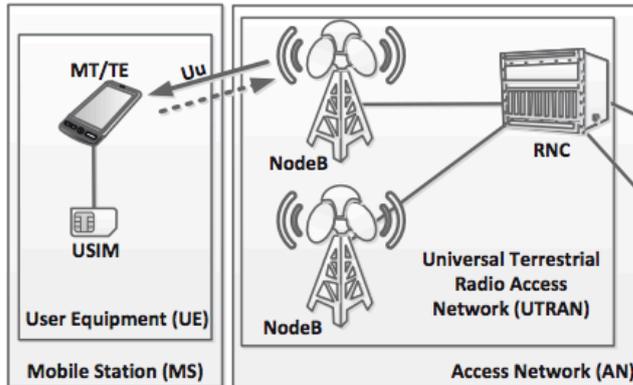
Segundo Kurose (2006), o HLR é um banco de dados de usuários (assinantes), que contém informações e perfis de usuários. De forma mais prática e lúcida, os HLRs são usados pelas MSCs (*Mobile Switching Center*) ou Centrais de Comutação Móveis para verificar se o assinante pode originar uma chamada, quais serviços foram contratados e existência de créditos do terminal móvel.

### 2.1.2 RAN

Desde a primeira versão do UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) que segundo Zaki (2013), tinha como objetivo a padronização global do sistema de comunicação móvel, a interface aérea que provê acesso à rede para os terminais móveis é chamada de RAN (*Radio Access Network*). Derivações podem ser utilizadas como GERAN, período da tecnologia GSM; UTRAN, período da tecnologia 3G; e, a mais recente eUTRAN, na quarta geração da comunicação móvel 4G.

Ainda segundo Zaki (2013), a rede de acesso por rádio (RAN) no UMTS é denominada Rede de Acesso por Rádio Terrestre (UTRAN) e é composta por um elemento RNC (*Radio Network Controller*) e por vários NodeBs, que representam as estações rádio base UMTS, conforme Figura 2.

Figura 2 - Estrutura de RAN no UMTS



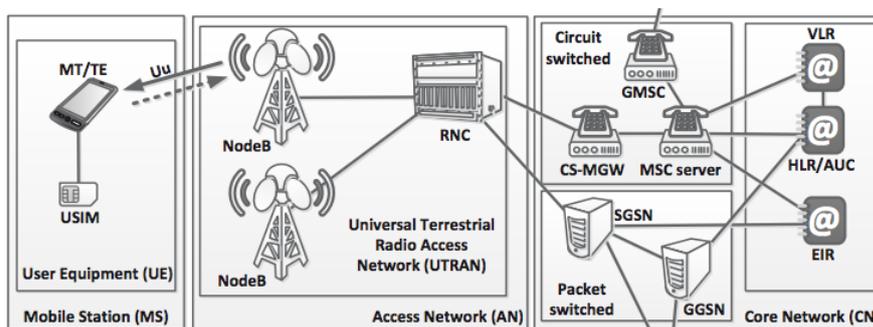
Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

Essa parte do sistema possui as funções de transmissão e recepção, codificação e alocação do canal, correção e detecção de erros, controle de potência, controle de *handover*, encriptação do sinal, além de outras funções.

### 2.1.3 UE

Também conhecido como MS (*mobile station*) ou estação móvel, o UE (*user equipment*) corresponde ao conjunto do terminal móvel e seu identificador de assinante USIM (*Universal Subscriber Identity Module*), conforme Figura 3.

Figura 3 - Arquitetura da rede UMTS



Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

## 2.2 EVOLUÇÃO DA COMUNICAÇÃO MÓVEL CELULAR

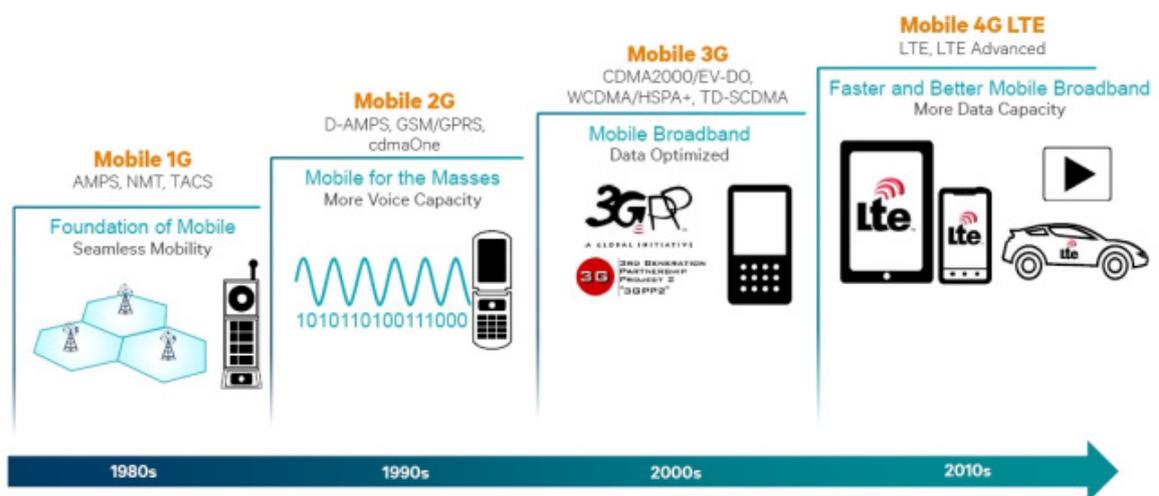
Desde os primórdios da civilização, na Grécia antiga, com o uso de sinais de fumaça como forma de comunicação, observa-se o desejo de comunicar-se livre de fios e aparatos (DIAS, 2001).

Os primeiros experimentos com a comunicação via rádio aconteceram em 1897 e, a partir de então, a evolução dos sistemas de telefonia móvel transformaram não somente a forma como nos comunicamos uns com os outros, mas também causaram uma revolução na forma como vivemos.

A partir de 1940, nos Estados Unidos, começaram a surgir as primeiras propostas de sistemas de comunicação móvel, introduzidas pela operadora AT&T e aprovadas pela FCC (*Federal Communications Commission*) para comercialização. Inicialmente, esse sistema era projetado para utilização embarcada em automóveis, somente nos anos seguintes fabricantes e operadoras do mundo todo enxergaram a oportunidade de trazer a comunicação móvel, efetivamente, para o uso pessoal.

O que se viu nos anos seguintes e que estamos presenciando é uma corrida tecnológica que além impulsionar o aumento da capacidade, velocidade e confiabilidade das redes móveis, promove também a competitividade de países e organizações com viés econômico-político e orienta as próximas gerações da tecnologia e dispositivos eletrônicos conectados à rede, ver Figura 4.

Figura 4 - Evolução da Comunicação Móvel Celular



Fonte: Site Tech Space, *Evolution from 1G to 4G LTE* (2018).

Nos próximos tópicos serão apresentados a evolução cronológica das gerações da comunicação móvel celular, bem como as motivações técnicas para cada uma delas até a quinta geração 5G.

### **2.2.1 Primeira geração da comunicação móvel celular (1G)**

A primeira geração, denominada 1G, é a geração analógica que surgiu nos anos de 1980. Diversos padrões foram adotados em diferentes países, sua principal característica é a limitação no serviço de voz, que operava na faixa de 800MHz.

De acordo com Dahlman et al. (2007), o primeiro sistema de comunicação móvel internacional foi o sistema analógico NMT (*Nordic Mobile Telephony*), introduzido nos países nórdicos em 1981, ao mesmo tempo em que o AMPS analógico (*Advanced Mobile Phone Service*) foi introduzido na América do Norte. Além desses, também surgiram o TACS (*Total Access Communications System*) no Reino Unido, o JTACS (*Japan Total Access Communications Systems*) no Japão.

A falta de padronização limitava a mobilidade ao âmbito de um país, ou uma rede. O *Roaming* Internacional não era possível por serem diferentes as tecnologias adotadas em cada país. A modulação FM (modulação em frequência) expunha o conteúdo da comunicação a violação ou grampo devido à ausência de criptografia. A clonagem de usuário tornou-se uma fraude comum, pois não havia autenticação do acesso móvel. Ainda, o uso do telefone celular se popularizou rapidamente exaurindo a capacidade espectral disponível para as redes de comunicações móveis. Esses problemas impulsionaram o desenvolvimento tecnológico neste mercado, abrindo caminho para a primeira grande evolução da telefonia celular.

### **2.2.2 Segunda geração da comunicação móvel celular (2G)**

Em meados de 1990, com o advento da comunicação digital, surgiu o GSM (*Global System Mobile*) que foi o sistema padronizado em grande parte dos países europeus.

De acordo com Rappaport (2009), o sistema utilizava tecnologia TDMA (*Time Division Multiple Access*) que permitia múltiplos usuários realizarem conexões por um mesmo canal de rádio, cada um ocupando uma fração do tempo (*time slot*). Rappaport (2009) complementa que nos Estados Unidos, Coréia, Japão, China e Austrália fora adotada a tecnologia CDMA (*Code Division Multiple Access*) permitindo que os usuários pudessem se comunicar ao mesmo tempo, através do compartilhamento da frequência, cada acesso usando um código ortogonal único por

célula. Essa técnica permitiu aumentar a capacidade em dez vezes, se comparado aos sistemas de primeira geração usando o mesmo espectro. O sistema ficou conhecido como Padrão CDMA (IS-95).

Com as técnicas digitais, foi possível aumentar a capacidade dos sistemas, oferecer serviços de melhor qualidade, ampliar o conceito de mobilidade através do *Roaming Internacional* (maior padronização de redes), ter mais segurança com acessos autenticados e dados criptografados e desenvolver dispositivos móveis muito mais atrativos.

Os sistemas digitais também possibilitaram a introdução dos primeiros serviços de dados na telefonia, como o SMS (*Short Message Service*), CSD (*Circuit Switch Data*), *Group 3 Fax* e o serviço de comutação por pacote.

Segundo Dahlman et al. (2007), os pacotes de dados nos sistemas celulares tornaram-se uma realidade durante a segunda metade dos anos 90, com a introdução do GPRS (*General Packet Radio Services*) no GSM; e com o CDMA 1xRTT (*1x Radio Transmission Technology*), período conhecido como a era 2.5G.

Ainda que o sistema de telefonia celular estivesse evoluindo, a velocidade não ultrapassava a marca dos 100 Kbps. A tecnologia EDGE (*Enhanced Data Rates for GPRS Evolution*) foi uma tentativa para melhorar a taxa de dados e fornecer até 384 Kbps, no entanto ainda era insuficiente para prover mais serviços de valor agregado.

### **2.2.3 Terceira geração da comunicação móvel celular (3G)**

À medida que o número de assinantes do serviço de comunicação móvel foi crescendo, e a necessidade pelo consumo de dados já era maior que a necessidade da comunicação de voz, o sistema GSM já não era mais capaz de suportar a demanda dos usuários. A nova geração deveria estar preparada para uma nova era, trazendo alta qualidade de conteúdo multimídia móvel, *streaming* de vídeo em altas definições e suportar a crescente demanda que as redes sociais trariam para essa nova fase. Foi então que surgiram as redes da terceira geração 3G.

Esta nova geração está baseada no mecanismo de acesso CDMA e suas diversas ramificações como CDMA2000/EV-DO, WCDMA/HSPA+ e TD-SCDMA. As faixas de frequência que atuam o sistema 3G variam de acordo com a região, podendo ser de 850MHz até 2170 MHz.

Nesse período, a ITU-T (União Internacional de Telecomunicações) conduziu o projeto IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*), que tem por objetivo o desenvolvimento de sistemas móveis com características de faixa larga. Já o 3GPP (*Third*

*Generation Partnership Project*), organização que contempla fornecedores, operadoras, e órgãos controladores como ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) definiu o UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) como padrão para a continuidade dos estudos na área.

O UMTS é o termo adotado para designar o padrão de terceira geração e que utiliza como interface de rádio o *Wideband CDMA* (WCDMA) e suas evoluções, conforme Quadro 1. Foi a partir dessas técnicas que se deu início ao acesso a banda larga móvel em grande escala.

Quadro 1 - Comparativo da rede 3G no padrão UMTS

Tecnologia	WCDMA	HSPA	HSPA+
Downlink	2,0 Mbps	7,2/14,4 Mbps	21/42 Mbps
Uplink	474 Kbps	5,76 Mbps	7,2/11,5 Mbps
Canalização (MHz)	5	5	5
Latência (ms)	250	~ 70	~ 30
Espec. Release	99 e 4	5 e 6	7
Início de Operação Comercial	2002	2007	2009

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

De acordo com Rodovalho e Sodré Junior (2014), foi no *release 7* com o lançamento do HSPA+ que importantes técnicas foram incluídas e permitiram à rede 3G não somente dar um salto de velocidade, mas também aumentar a capacidade do sistema. Tais técnicas são: modulação de alta ordem e MIMO (*Multiple Input e Multiple Output*); operação com Dual-Portadora no *downlink*; e conectividade contínua de pacotes para melhorar o tempo de vida da bateria.

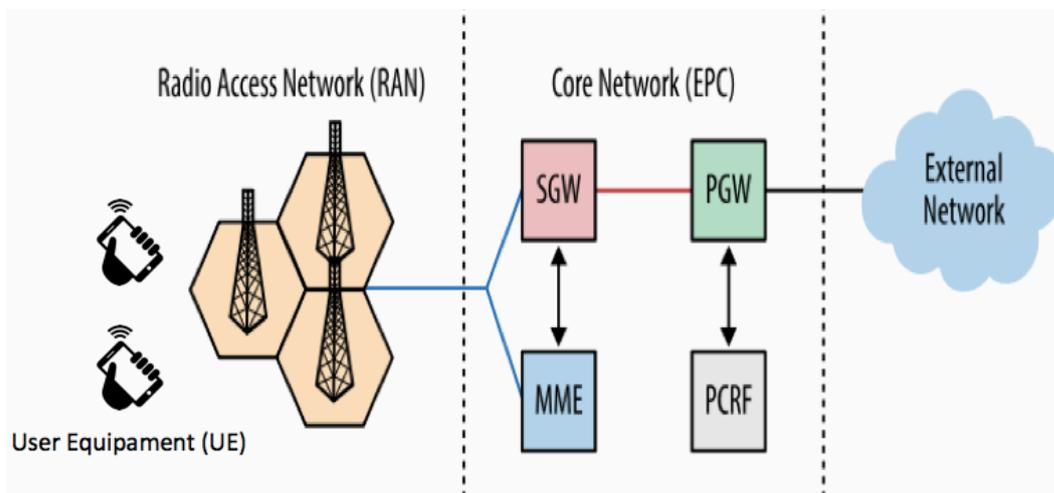
#### 2.2.4 Quarta geração da comunicação móvel celular (4G)

*Long Term Evolution* (LTE), um padrão desenvolvido pelo 3GPP, é atualmente a principal tecnologia conhecida como 4G. Alguns autores classificam que a primeira geração do LTE deva ser chamada de 3.9G, já que de acordo com os requisitos da ITU para redes de quarta geração não são atendidos plenamente pela tecnologia LTE.

De acordo com Gonçalves Neto (2014, p. 1), “o sistema LTE é uma tecnologia IP (*Internet Protocol*), projetada para obter baixa latência e uma alta eficácia no aproveitamento do espectro quando comparados a sistemas de gerações anteriores”.

Considerando o LTE *release 8* do 3GPP, que trouxe essa mudança fundamental para uma rede totalmente baseada no tráfego por pacotes de dados, foi necessário também uma nova terminologia para descrever a arquitetura da rede. Para isso ficou definido como eUTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*), eNodeB (*Evolved Node B*) e a principal mudança deu-se no *core* da rede, EPC (*Evolved Packet Core*) com a inclusão de *gateways* IPs responsáveis pela alocação de endereços IP para o UE (*User Equipament*), conforme Figura 5.

Figura 5 - Arquitetura da rede LTE



Fonte: Adaptado pelo autor (2018).

Rodvalho e Sodré Junior (2014), destacam que um dos principais benefícios dessa nova tecnologia   a técnica de multiplexa o por divisão em frequências ortogonais (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM*), que traz grandes vantagens na aloca o de recursos de rádio e adapta o dos enlaces. Tal tecnologia de acesso consiste em transmitir uma única onda subportadora de cada vez por um determinado instante de tempo, ao invés de transmitir diversos conjuntos de sinais ao mesmo tempo. Isso implica em menor consumo de energia no UE (*User Equipament*).

Além do LTE, dois novos padrões foram especificados pelo 3GPP dentro da quarta gera o que apresentaram ganhos significativos de capacidade e velocidade na rede, *LTE-Advanced* e *LTE-Advanced Pro*, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Comparativo rede 4G pela UMTS

Tecnologia	LTE	LTE-Advanced	LTE-Advanced Pro
Downlink	100 Mbps	1,0 Gbps	3,0 Gbps
Uplink	50 Mbps	0,5 Gbps	1,5 Gbps
Canalização (MHz)	20	100	640
Latência (ms)	~ 10	~10	<2
Espec. Release	8 e 9	10,11, 12	13

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Outra importante característica predominante nas redes de quarta geração, que foi introduzida a partir do LTE *Advanced release* 10 foi a agregação de portadoras e técnicas de antenas múltiplas MIMO. Essa técnica emprega a utilização de várias antenas para transmitir e receber sinais através da diversidade espacial. “O uso de múltiplas antenas no transmissor e receptor melhora a eficiência da rede podendo até duplicar a taxa de *throughput* experimentada pelos usuários, sob condições favoráveis de rádio” (RODOVALHO; SODRÉ JUNIOR, 2014, p.8).

As frequências utilizadas na rede 4G no Brasil podem operar na faixa de 1800 a 2600 MHz. Além disso, com o término da transição da TV analógica para a TV digital, houve a liberação de espectro nas faixas atuais 700 MHz a 800 MHz.

### 2.3 PROCESSO DE PADRONIZAÇÃO DAS REDES MÓVEIS

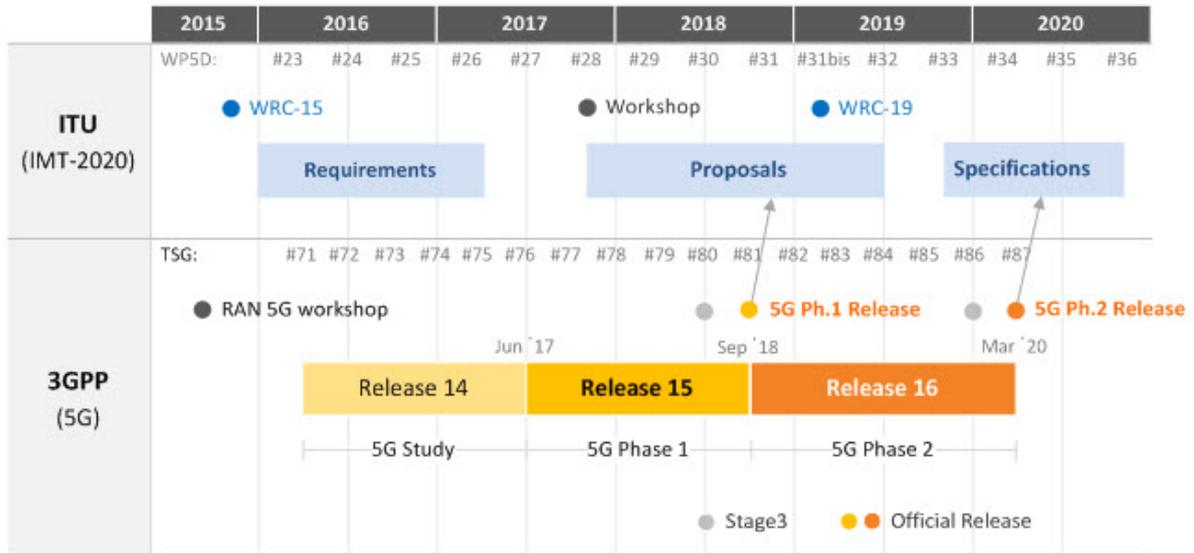
A agitação na indústria da tecnologia móvel, exige um nível de estudo profundo de organizações internacionais que, além de atender a demanda pela conectividade sem fio com a melhor tecnologia, visam definir o padrão globalmente adotado pela indústria e países, garantindo escalabilidade dos produtos, plena mobilidade do usuário e interoperabilidade.

Nesse contexto, destacam-se dois principais órgãos que conduzem os estudos e especificações do 5G, sendo eles o 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), e o ITU (*International Telecommunication Union*).

O ITU é a agência das Nações Unidas encarregada de coordenar operações e serviços de telecomunicações em todo o mundo, fornecendo orientação e descrevendo os requisitos para a operação da tecnologia celular. O 3GPP segue esta orientação da ITU para desenvolver as

especificações, que então avalia as especificações e, tendo dado sua aprovação, emite declarações de conformidade.

Figura 6 - Cronograma da padronização do 5G

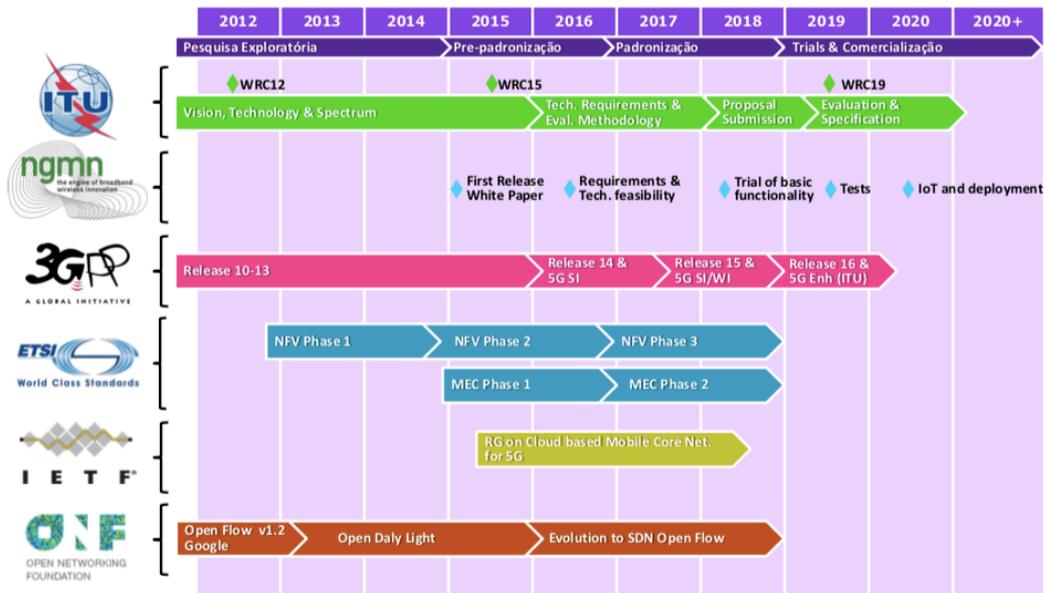


Fonte: Site Dr. Michelle M. (2018).

O histórico mostra que o estudo do 5G deu início em 2015 e no ano seguinte apareceram os primeiros requisitos técnicos com a *release 14*, ver Figura 6. Em 2017 a indústria concordou com um plano para acelerar o cronograma de padronização 5G, dividindo o *release 15* em duas fases, sendo a primeira delas não autônoma (NSA), *release 15* fase 1, que foi concluída em dezembro de 2017. Em junho do ano de 2018, o 3GPP anunciou a conclusão da especificação fase 2 do 5G NR (*New Radio*) na sua versão autônoma (SA).

Na Figura 7 é possível perceber o esforço e cronograma de diferentes órgãos comprometidos com o mesmo objetivo final, que é tornar o 5G uma realidade. A comercialização de banda larga e outros serviços 5G está prevista para iniciar a partir de 2019 em países da Europa, Ásia e América do Norte. No Brasil, a previsão é que as operadoras comecem a comercialização do 5G apenas a partir de 2021.

Figura 7 - Cronograma do 5G

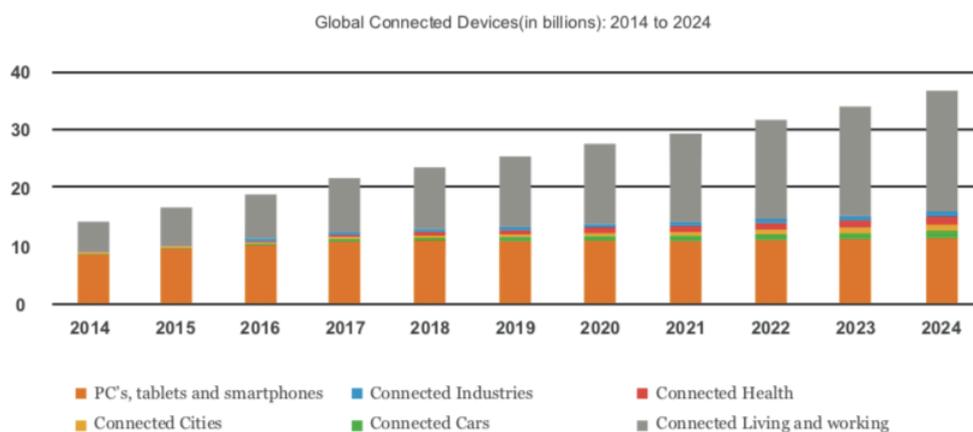


Fonte: *White Paper* Operadora Oi Telecom (2018).

## 2.4 INTERNET OF THINGS (IOT)

De acordo com Relatório *The Mobile Economy 2018*, o número de conexões da Internet das Coisas (IoT) aumentará mais de três vezes mundialmente entre 2017 e 2025, chegando a 25 bilhões, conforme Figura 8.

Figura 8 - Dispositivos conectados no mundo: Projeção 2024

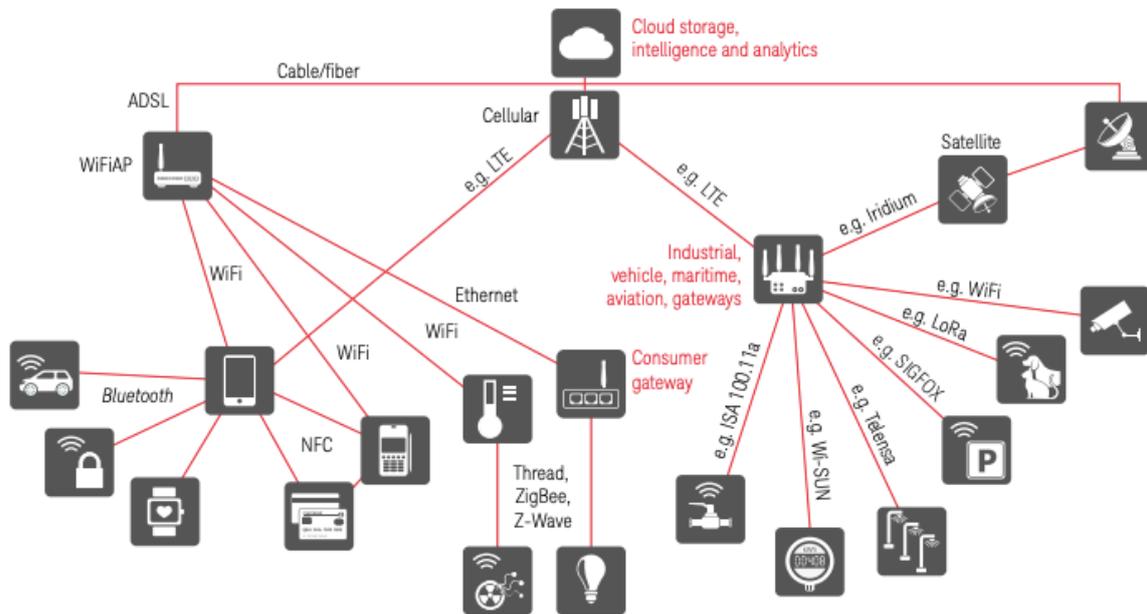


Fonte: *White Paper The Future of Cellular IoT* (2018).

A ITU (*International Telecommunication Union*) define IoT como “Uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados através da

*interconexão (física e virtual) de coisas baseadas em tecnologias interoperáveis de informação e comunicação, existentes e em evolução ". (ITU, 2012).*

Figura 9 – Rede de coisas conectadas



Fonte: White Paper Keysight Technologies (2018).

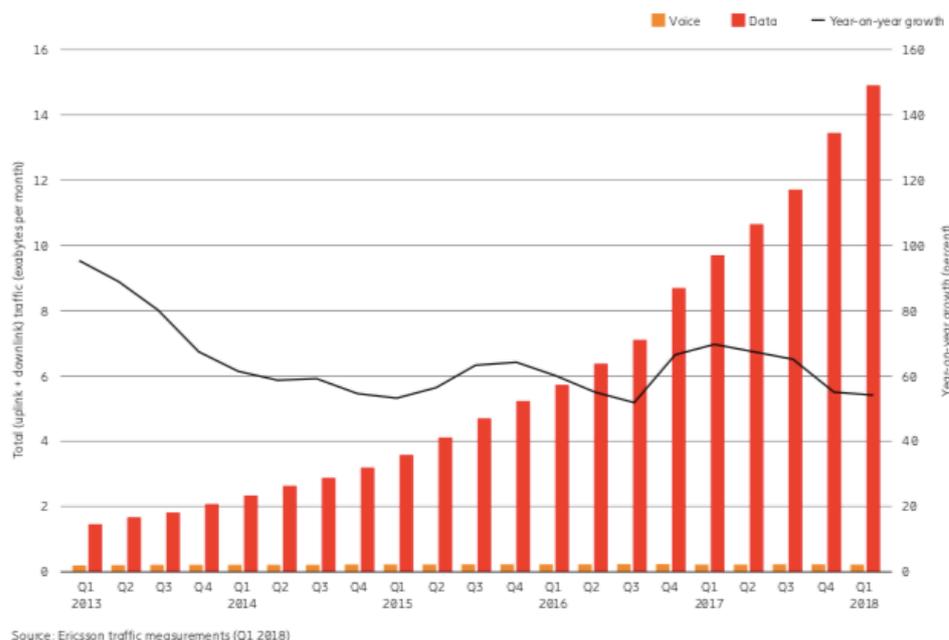
A definição do IERC (*IoT European Research Cluster*) afirma que IoT é "Uma infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, onde coisas físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são perfeitamente integradas na rede de informação ", conforme Figura 9.

De acordo com Peter Waher (2015) a Internet das Coisas é algo que obtemos quando conectamos as coisas, não operadas por seres humanos, à Internet. Atualmente a principal forma de comunicação da Internet é humana e segundo o autor a IoT pode ser considerada como a futura avaliação da Internet que realiza aprendizagem M2M (*Machine to Machine*), fornecendo conectividade para todos e tudo. (Peter Waher, 2015).

### 3 A QUINTA GERAÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Antes de introduzir os conceitos de 5G, faz-se necessário uma profunda reflexão para onde o rumo das comunicações está caminhando. De acordo com o último Relatório de Mobilidade da Ericsson divulgado em junho de 2018 (ver Figura 10), no primeiro trimestre de 2018, o tráfego de dados móveis no mundo cresceu cerca de 54% ao ano comparado com o primeiro trimestre de 2017. O mesmo relatório ainda mostra que em 2017, 56% de todo o tráfego foram aplicações de vídeo e a perspectiva para 2023, é que essa aplicação represente 73% do volume total de tráfego móvel.

Figura 10 - Crescimento Dados Móveis por trimestre



Fonte: Relatório de Mobilidade da Ericsson (2018).

Enquanto as quatro primeiras gerações das redes móveis esforçaram-se para oferecer comunicação de voz e dados eficiente, conectando pessoas, a rede de quinta geração 5G promete fazer muito mais, não só conectando pessoas e coisas como também redefinindo uma nova dinâmica de imersão digital.

Várias áreas de aplicação distintas podem ser identificadas conforme Figura 11, onde as redes sem fio atuais terão dificuldades para fornecer a melhor experiência de uso: elas incluem sistemas de transporte autônomo; aplicações de automação industrial e utilitários; serviços de saúde; serviços de realidade virtual aumentada para consumidores e empresas; aplicações de cidades inteligentes; casas inteligentes, e uma série de usos para a banda larga móvel, incluindo

a entrega de conteúdo em todos os lugares, e o uso de redes sem fio como o principal serviço de acesso de banda larga.

Figura 11 - Aplicações para redes 5G



Fonte: Relatório *Making 5G NR a reality* (2018).

Duas tendências significativas estão impulsionando a indústria *mobile* a desenvolver uma quinta geração de tecnologia de rede: o aumento explosivo na demanda por serviços de banda larga sem fio, que precisam de redes mais rápidas e de maior capacidade, capazes de fornecer vídeo e outros serviços ricos em conteúdo; e a *Internet of Things* (IoT), que está alimentando a necessidade de conectividade massiva de dispositivos, e também a necessidade de conectividade ultra confiável e de latência ultra baixa sobre o Protocolo de Internet (IP).

O relatório sobre 5G da NGMN (*Next Generation Mobile Network*) afirma que, o 5G é um ecossistema de ponta a ponta para permitir uma sociedade totalmente móvel e conectada. Ele possibilita a criação de valor para clientes e parceiros, por meio de casos de uso existentes e emergentes, fornecidos com experiência consistente e possibilitados por modelos de negócios sustentáveis.

O Relatório *Making 5G NR a reality* (2016) produzido pela Qualcomm, define o 5G como uma plataforma para inovações que redefinirá uma ampla gama de indústrias conectando virtualmente todos e tudo, desde trabalhadores e pacientes até robôs e culturas, suportando as necessidades de conectividade em diversos casos de uso que mudam o mundo. O 5G reunirá os mundos das pessoas para alcançar novos níveis de eficiência que beneficiarão toda a sociedade.

Enquanto a indústria e as organizações regulamentadoras estão trabalhando em propor uma nova estrutura de rede 5G, introduzindo elementos novos como 5G *core* (5GC), e uma nova tecnologia de acesso via rádio chamada 5G *New Radio* (NR).

Tecnicamente, o 5G é um sistema projetado para atender aos requisitos do IMT-2020 conforme Figura 12, definidos pela especificação ITU-R e fornecerá recursos mais avançados em comparação com o 4G LTE (IMT-Advanced).

Figura 12 - Requisitos chave do IMT-2020 para redes 5G

Requirement		Value	Requirement	Value
Data rate	Peak	Downlink: 20Gb/s Uplink: 10Gb/s	Connection density	1,000,000 devices per km <sup>2</sup>
	User experienced	Downlink: 100Mb/s Uplink: 50Mb/s	Energy efficiency	Loaded: see average spectral efficiency No data: Sleep ratio <sup>1</sup>
Spectral efficiency	Peak	Downlink: 30 bit/s/Hz Uplink: 15 bit/s/Hz	Reliability	1-10 <sup>-5</sup> success probability of transmitting a layer 2 PDU (protocol data unit) of 32 bytes within 1ms
	5 <sup>th</sup> percentile user	Downlink: 0.12~0.3 bit/s/Hz Uplink: 0.045~0.21 bit/s/Hz	Mobility	0km/hr~500km/hr
	Average	Downlink: 3.3~9 bit/s/Hz Uplink: 1.6~6.75 bit/s/Hz	Mobility interruption time	0ms
Area traffic capacity		10 Mbit/s/m <sup>2</sup>	Bandwidth	100MHz
Latency	User plane	1ms~4ms		
	Control plane	20ms		

Fonte: Relatório *Road to 5G Introduction and Migration* (2018).

A rede 5G terá como objetivo fornecer vinte vezes a taxa de dados de pico, dez vezes menor latência e três vezes mais eficiência espectral do que a última geração 4G LTE. Na figura 13 é apresentado um comparativo entre as redes 4G e 5G.

Figura 13 - Comparativo principais características redes 4G e 5G

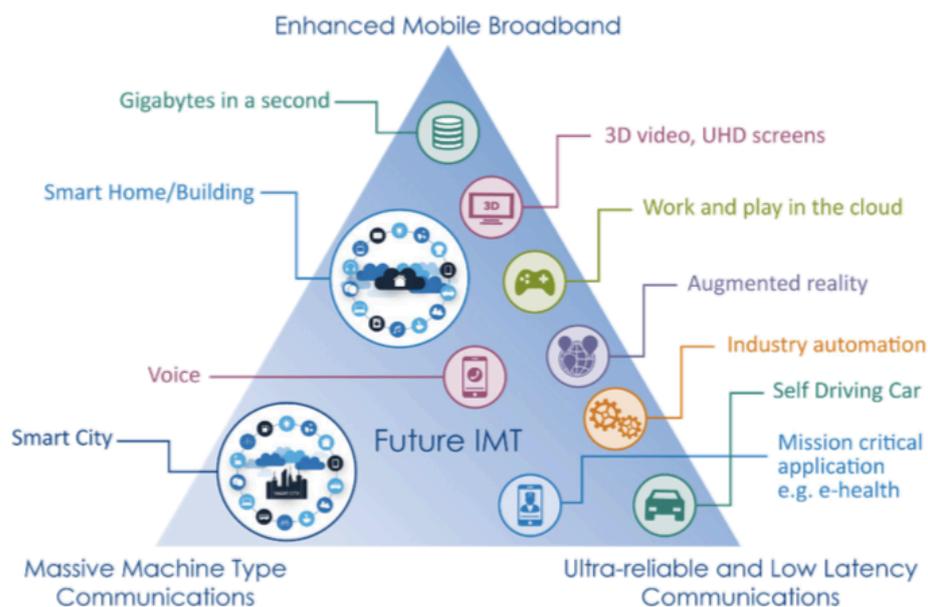
	IMT-Advanced (4G)	IMT-2020 (5G)
Taxa de Dados de pico	DL: 1Gbps UL: 0,5Gbps	DL: 20Gbps UL: 10Gbps
Taxa de Dados da Experiência do usuário	10 Mbps	100 Mbps
Eficiência do Espectro	1 (normalizado)	3x melhor IMT-Advanced
Mobilidade	350 Km/h	500 Km/h
Latência para usuário	10 ms	1 ms
Densidade de conexões	100 mil dispositivos/km <sup>2</sup>	1 milhão dispositivos/km <sup>2</sup>
Eficiência energética da rede	1 (normalizado)	100x melhor IMT-Advanced
Banda	Até 20 MHz por radio	Até 1 GHz por radio

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

### 3.1 PILARES DO 5G

As altas velocidades e a baixa latência prometidas pelo 5G, impulsionarão as sociedades para uma nova era de cidades inteligentes e a Internet das Coisas (IoT). De acordo com o Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018), dentre mais de 70 casos de uso, foram definidos e agrupados três principais aos quais serão abordados nessa pesquisa conforme Figura 14: *enhanced mobile broadband* (eMBB), *massive machine-type communications* (mMTC) e *ultra-reliable and low-latency communications* (URLLC).

Figura 14 - Principais casos de uso do 5G



Fonte: Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018).

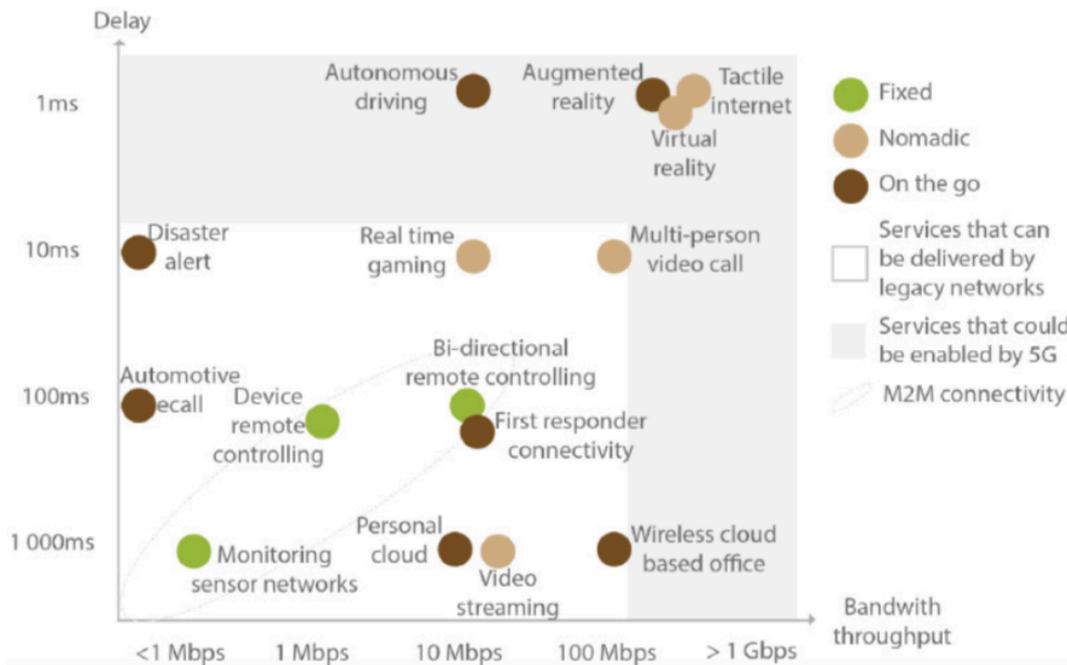
Na fase inicial de implantação do 5G, com a adoção de cenários NSA (*Non-Standalone*), o principal caso de uso será o eMBB. Segundo Popovski et al. (2018), o tráfego de eMBB pode ser considerado como uma extensão direta do serviço de banda larga 4G.

Popovski et al. (2018) destaca que esse caso de uso é caracterizado por grandes *payloads* e por um padrão de ativação de dispositivo que permanece estável durante um longo intervalo de tempo. Isso permite que a rede programe recursos sem fio para os dispositivos eMBB, de modo que não haja dois dispositivos eMBB acessando o mesmo recurso simultaneamente. O objetivo do serviço eMBB é maximizar a taxa de dados, garantindo uma confiabilidade moderada, com taxa de erro de pacote (PER) na ordem de  $10^{-3}$ .

De acordo com o Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018) produzido pelo ITU, o eMBB trará banda larga móvel de alta velocidade para áreas populosas, permitindo que os consumidores desfrutem de streaming de alta velocidade para dispositivos

em ambientes residenciais, aplicações em telas e dispositivos móveis sob demanda, e permitirá que os serviços de colaboração entre empresas evoluam. Algumas operadoras também estão considerando o eMBB como a solução de última milha nas áreas sem conexões de cobre ou fibra para as residências.

Figura 15 - Requisitos de largura de banda e latência para aplicações 5G



Fonte: Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018).

Já o mMTC, diferente do primeiro caso de uso onde o dispositivo permanece estável por um longo período e consumindo altas taxas (ver Figura 15), no serviço mMTC o dispositivo fica ativo intermitentemente e usa uma taxa de transmissão fixada, tipicamente baixa. Segundo Popovski et al. (2018), uma quantidade massiva de dispositivos pode estar conectada a uma estação base, porém apenas em um determinado momento, um subconjunto aleatório e desconhecido deles se torna ativo e tenta enviar os dados. O grande número de dispositivos mMTC, em princípio, inviabiliza a alocação de recursos para dispositivos mMTC individuais. Em vez disso, é necessário fornecer recursos que possam ser compartilhados por meio de acesso aleatório.

Popovski et al. (2018) destaca que o objetivo do serviço mMTC, é maximizar a taxa de chegada que pode ser suportada em um determinado recurso de rádio. O PER alvo de uma transmissão individual de mMTC é tipicamente baixo, na ordem de  $10^{-1}$ .

Segundo Ejaz et al. (2016), a comunicação entre máquinas tem um papel significativo a desempenhar no emergente paradigma da internet das coisas nos próximos anos e décadas. O

cenário emergente de IoT-5G estende os recursos de IoT baseados em sensores para robôs, atuadores e drones para coordenação distribuída e execução confiável de baixa latência.

No artigo, “*Enabling massive IoT in 5G and beyond systems: PHY radio frame design considerations*” por Ayesha Ijaz et al., os autores propõem uma estrutura de *frames* flexíveis para dispositivos massivos de Internet das Coisas (IoT) funcionando na rede 5G. Os autores discutem a interdependência de diferentes parâmetros, requisitos de serviço e características do ambiente de rádio.

Com base nessas interdependências, diferentes parâmetros como tempo de guarda, espaçamento da subportadora, volume de dados e características do canal, eles fornecem diretrizes para o projeto de numerologia de rádio e elaboram a estrutura de quadros para comunicações de IoT em redes 5G para suportar a densidade massiva de conexão de dispositivos de baixa potência e taxa.

De acordo com Ijaz et al. (2016), o parâmetro mais importante na estrutura do quadro é o espaçamento da subportadora  $\Delta f$ , uma vez que a maioria dos outros parâmetros depende desse valor, direta ou indiretamente. O valor de  $\Delta f$  precisa ser cuidadosamente escolhido, considerando as características de propagação do ambiente onde o sistema se destina a operar e pode também afetar diferentes requisitos de serviço, como densidade do usuário e taxa máxima de dados.

O artigo “*Enabling massive IoT in 5G and beyond systems: PHY radio frame design considerations*” ainda destaca os indicadores chave de desempenho (KPIs) para uma boa experiência e performance de aplicações IoT em cenários críticos, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - KPIs para cenários de comunicação IOT massivo

	KPI	Requirement
<b>User experience requirements</b> [4]	User experienced data rate	Low (typically 1-100 kb/s)
	End-to-End (E2E) latency	Seconds to hours
	Mobility	Low (0-3 km/h)
<b>System performance requirements</b>	Connection density	200,000/km <sup>2</sup> [4] 300,000 per cell [46] 1 million/km <sup>2</sup> [17]
	Coverage	99.9% [46]
	Protocol scalability	80% protocol efficiency at 300,000 devices per access node [46]
	Energy efficiency	0.015 uJ/bit for data rate in the order of 1 kb/s [46]

Fonte: *Enabling Massive IoT in 5G and Beyond Systems: PHY Radio Frame Design Considerations* (2016).

O último caso de uso definido pelo Relatório *Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges* (2018), é o *ultra-reliable and low-latency communications* (URLLC), também conhecido como comunicações de missões críticas.

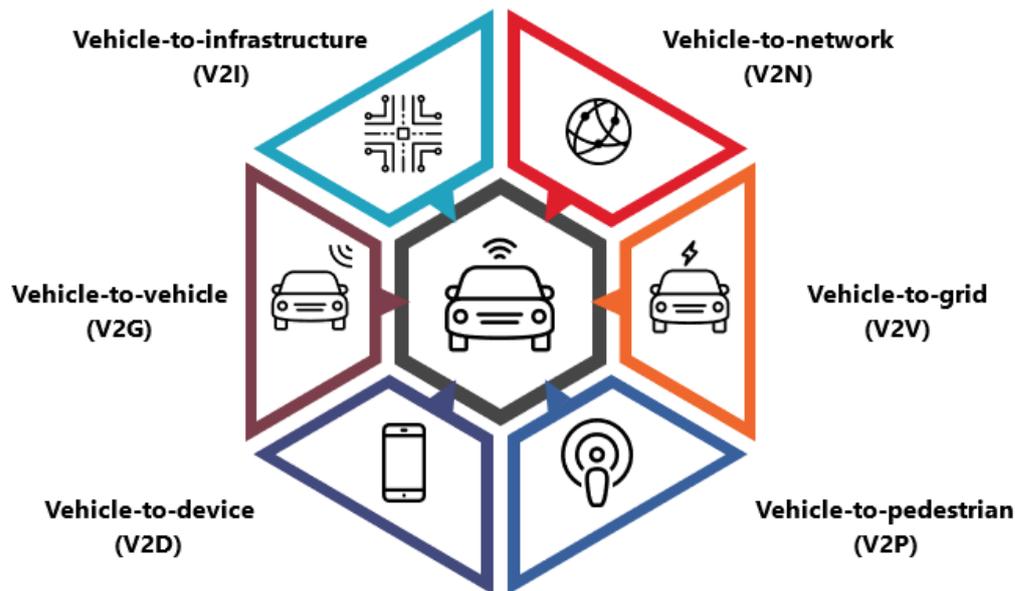
Segundo Popovski et al. (2018), o serviço URLLC suporta transmissões de baixa latência de pequenos *payloads* com confiabilidade muito alta de um conjunto limitado de terminais, que serão ativados de acordo com padrões normalmente especificados por eventos externos, como alarmes.

O relatório *5G Mobile: Impact on the Health Care Sector* produzido pelo autor Teece (2017), afirma que o 5G tem um papel importante a desempenhar na entrega de intervenções de missão crítica. Um exemplo citado no relatório é um caso relacionado ao tratamento de um paciente com AVC onde as redes ultra confiáveis e de baixa latência (URLLC) têm um papel fundamental a desempenhar do ponto em que o dispositivo de monitoramento do paciente envia um sinal de socorro à ambulância, onde imagens de alta resolução e dados sobre sinais vitais podem ser transmitidos para o hospital antes da chegada do paciente.

Segundo Teece (2017), no campo da saúde, o 5G é a base de sustentação para o que é chamado de *Internet of Medical Things* (IOMT). O IOMT envolve um ecossistema de conexões que facilitarão a comunicação e o feedback entre pacientes, por um lado, e dispositivos médicos e equipamentos de monitoramento, por outro. Além disso, a rede 5G trará uma diferença enorme em termos de capacidade de diagnósticos e análises de forma remota, com o uso de aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada realmente imersivos. A capacidade de simular uma experiência ao vivo e de fazer perguntas ao paciente em tempo real, não apenas fornece tratamento e diagnóstico imediatos, mas também tratamento e diagnóstico mais eficazes.

Em seu outro relatório *5G Mobile: Disrupting the Automotive Sector*, Teece (2017) destaca que o 5G será o habilitador e acelerador dos benefícios sociais dos carros autônomos e veículos inteligentes. Os recursos de baixa latência (URLLC) e alta taxa de bits (eMBB) do 5G possibilitarão as comunicações V2X (*vehicle-to-everything*) que abrange uma gama de habilidades de comunicação: veículo para pedestre, veículo para veículo, veículo para rede, veículo para dispositivo móvel e veículo para infra-estrutura, conforme Figura 17.

Figura 17 - Tecnologia *vehicle-to-everything* (V2X)



Fonte: Site Access Partnership: *Tapping into the Connected Car* (2018).

Popovski et al. (2018) ressalta que as transmissões de URLLC também são intermitentes assim como os serviços mMTC, mas o conjunto de potenciais transmissores de URLLC é muito menor se comparado ao segundo caso de uso. A taxa de transmissão de um URLLC é relativamente baixa, e o principal requisito é garantir um alto nível de confiabilidade, com um PER tipicamente menor que  $10^{-5}$ .

Todos os casos de uso e requisitos técnicos da rede 5G definidos pelo IMT-2020 citados acima, somente serão possíveis devido a uma colaboração intensa entre a indústria, institutos de pesquisa, agentes reguladores e operadoras. Novas tecnologias, protocolos, infraestrutura e modelos de negócios estão sendo desenvolvidos e testados. Nas seções a seguir será possível compreender as principais características da rede 5G.

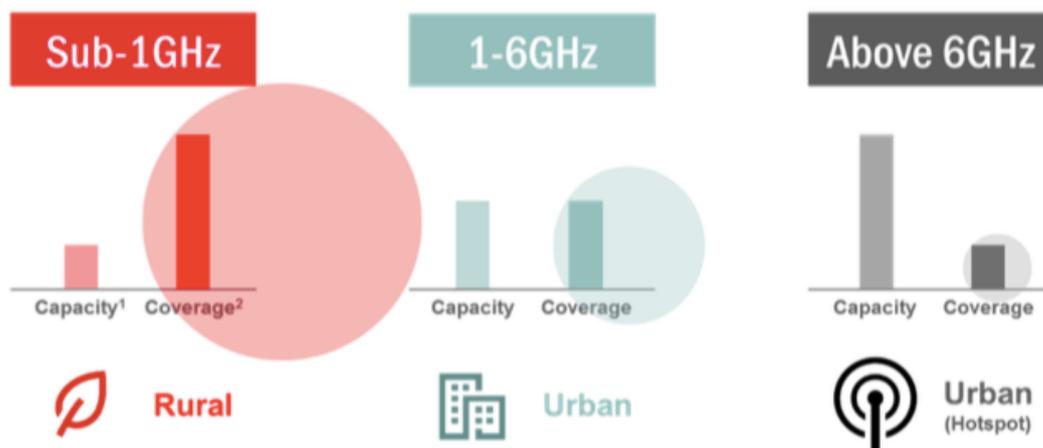
### 3.2 ESPECTRO

A variedade de requisitos e as necessidades de espectro mostram que há muitas opções e desafios para introdução do 5G. Diferentes bandas de espectro serão necessárias para suportar todos os casos de uso. As operadoras de telefonia móvel devem, portanto, considerar a viabilidade de diferentes opções para atender aos casos de uso inicialmente pretendidos e garantir a interoperabilidade de suas redes.

Em termos de características físicas, o espectro pode ser dividido em três faixas de frequência: até 1 GHz, até 6 GHz e acima de 6 GHz.

Cada intervalo de espectro tem características específicas que o tornam adequado para determinados cenários de implantação, conforme pode ser observado na Figura 18. A faixa de baixo espectro tem aspectos de propagação muito bons que a tornam viável para a cobertura de grandes áreas, como ambientes rurais. A faixa intermediária do espectro (até 6 GHz), fornece um tipo de cobertura mais viável para a implantação em áreas urbanas e com maior capacidade de dispositivos conectados. Por último, a faixa de alto espectro (acima de 6 GHz) é mais limitada na cobertura, porem pode fornecer uma capacidade muito alta devido à quantidade de espectro não utilizado e disponível nessas frequências.

Figura 18 - Capacidade vs Cobertura considerando o espectro por categoria



Fonte: *Road to 5G Introduction and Migration* (2018).

Dessa forma, com diferentes características para cada faixa de espectro, não é possível utilizar apenas uma única banda que seja possível de atender os requisitos das redes 5G.

Os requisitos técnicos estabelecidos pelo ITU e que vão de encontro ao IMT-2020, especificam que as operadoras de telefonia precisam de pelo menos 100 MHz de banda para garantir as aplicações e casos de uso inicialmente definidos. Para frequências acima de 6 GHz, o requisito é de até 1 GHz de banda por operadora.

Seguindo as orientações e resultados da WRC (*World Radio Conference*), que tem a função de estudar e revisar o Regulamento de Radiocomunicações (RR), as agências reguladoras de todo o mundo estão desenvolvendo ativamente seus planos de espectro 5G.

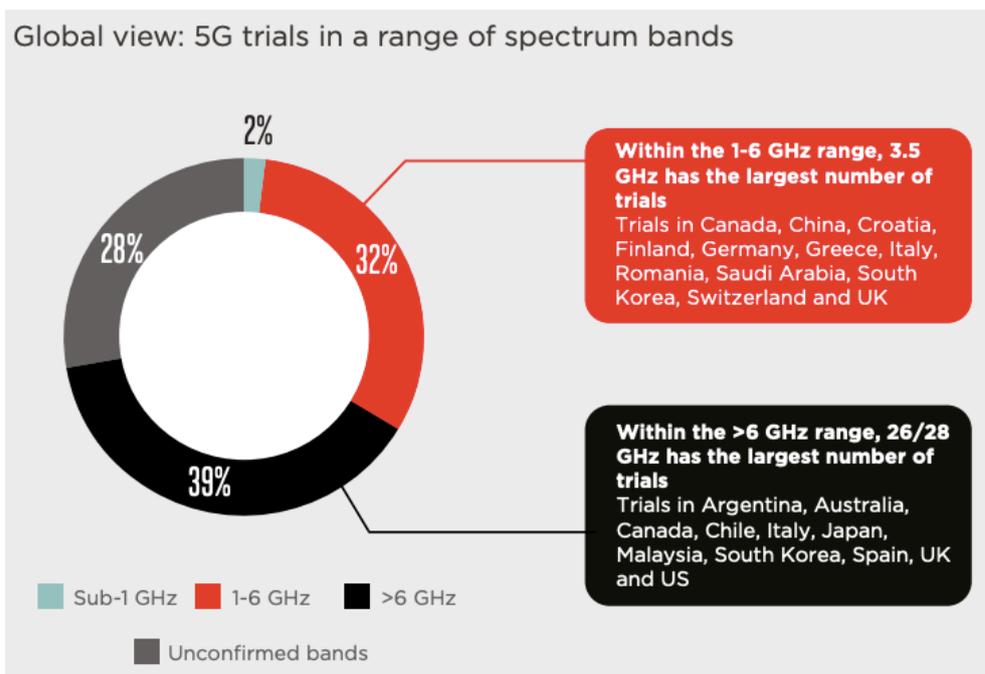
As discussões sobre disponibilidade de espectro no âmbito nacional e a convergência para uma rede de telecomunicações móvel internacionalmente harmonizada, receberam bastante destaque desde a formulação do IMT-2020 pela ITU. Países pioneiros como Estados Unidos, China, Coreia do Sul e União Europeia, ao mesmo tempo em que disponibilizam

espectro para o 5G e buscam harmonização internacional, também se empenham para que divergências culminem em seu favor na padronização.

De acordo com o Relatório elaborado pelo ECC (*Electronic Communications Committee*), uma técnica que surge como oportunidade para melhorar a harmonização de espectro é o *tuning range*, onde essa abordagem prevê que os equipamentos de rádio trabalhem com um ajuste de faixa de operação, o que permitiria que as bandas adjacentes possam ser suportadas pelo mesmo equipamento. Isso pode poupar dispositivos de hardware para múltiplas portadoras e deixaria a adaptação sob responsabilidade da rede de acesso. Os licenciamentos ganham bastante complexidade com essa alternativa, mas trazem muitas oportunidades.

Muito países já manifestaram um plano de espectro voltado para disponibilização de serviços 5G, conforme Figura 19. As faixas anunciadas são resultado de pesquisas por disponibilidade de bandas maiores que 100 MHz, principalmente para as taxas iniciais de eMBB.

Figura 19 - Visão global dos testes de 5G em termos de espectro



Fonte: *GSMA Intelligence (2018)*.

O lançamento comercial a nível mundial do 5G é esperado somente para 2020, porém muitas operadoras estão implementando demonstrações ao vivo em eventos esportivos, como foi o caso da Korea Telecom nos Jogos Olímpicos de Inverno em Pyeong Chang em fevereiro de 2018; a Verizon no jogo de *super bowl* na cidade de Nova York em fevereiro de 2018; e a

Telstra nos Jogos da Commonwealth em Gold Coast, Queensland, na Austrália em abril de 2018.

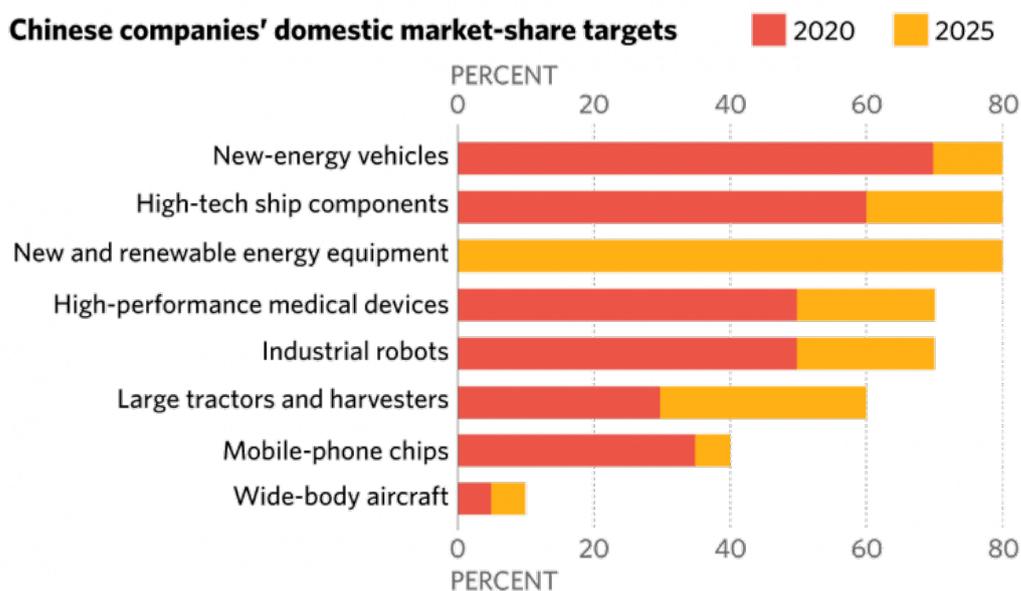
O próximo grande evento deste tipo está planejado para os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de Verão em Tóquio, onde o 5G será demonstrado pela NTT DoCoMo, Huawei e Tobu Railway em 2020.

Os Estados Unidos é um país bem avançado em termos de 5G. De acordo com o Relatório *European 5G Observatory*, a *Federal Communications Commission* (FCC) está buscando uma estratégia abrangente e completa para a nova geração da rede 5G, e tem ao seu lado um forte aliado que é o grupo 5G Americas, responsável por defender os interesses dos fabricantes e entidades parceiras, além de promover o avanço da tecnologia.

Desde o início de 2017, a operadora AT&T vem realizando testes para rede sem fio de banda larga fixa e móvel 5G. A empresa trabalha com parceiros como Ericsson, Samsung, Nokia e Intel. A operadora americana planeja lançar serviços móveis 5G para 15 cidades ou centros populacionais até o final de 2018, incluindo Dallas, Atlanta, Charlotte e Carolina do Norte.

Na China, a implantação do 5G é fortemente apoiada pelo governo. De acordo com a iniciativa *Made In China 2025*, o 5G está entre as prioridades estratégicas para todo o país e um dos objetivos é se tornar um dos líderes globais do 5G (ver Figura 20). Como parte do plano e iniciativa do país, as autoridades concederam doações para empresas locais orientadas para 5G, incluindo ZTE e Huawei.

Figura 20 - Principais objetivos/desejos do plano ambicioso *Made In China 2025*



Fonte: *Mercator Institute for China Studies; The Economist* (2018).

Em outubro de 2017, o governo chinês deu início à 3ª fase de testes de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia 5G. Esta fase visa obter produtos pré-comerciais prontos para quando a primeira versão do padrão 5G sair no fim de 2019.

A operadora China Mobile começou a realizar testes 5G durante o segundo semestre de 2016 e planeja começar a oferecer serviços 5G em 2019, que é um ano antes do planejado originalmente. Em 2018, a China Mobile anunciou testes em larga escala em cinco cidades, incluindo Xangai e Hangzhou, com cerca de 500 estações base. Os testes serão estendidos para 20 cidades no início de 2019 com outras 500 estações base para testar aplicações de negócios. A rede de testes usará o espectro de 3,5 GHz e alguns da banda de 4,9 GHz.

Já na Europa, existe uma variedade de testes e experimentações 5G com resultados divergentes. De acordo com o Relatório *European 5G Observatory*, na Suíça, a operadora Sunrise e a fabricante Huawei demonstraram casos de uso com 5G em uma rede *end-to-end*. Foram obtidos *throughputs de download* de 3,28 Gbit/s, utilizando espectro na faixa de 3,5 GHz, utilizando aplicações como realidade virtual e fluxos de vídeo 4K.

Na Alemanha, a Deutsche Telekom, a Intel e a Huawei colaboraram para alcançar os testes de interoperabilidade e desenvolvimento 5G baseados no padrão 3GPP R15 com uma estação base comercial. Este teste foi baseado na estação base comercial 5G da Huawei e na Plataforma de avaliação móvel 5G NR de terceira geração da Intel, enquanto também incorpora a tecnologia de *beamforming* e Massive MIMO nas antenas, tecnologias já habilitadas pela estrutura padrão.

O Brasil é representado nos fóruns internacionais sobre 5G pela Telebrasil (Associação Brasileira de Telecomunicações), com o projeto 5G Brasil que engloba grandes agentes das telecomunicações no país, e alcança representatividade nas questões para harmonização do espectro, entre outras discussões para a nova geração.

Em apresentação durante o Painel Telebrasil, Tarcísio Aurélio Bakaus, coordenador de planejamento de espectro e assuntos internacionais da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) calcula que o Brasil precisa de 69 a 400 MHz de banda contínua para alocar as necessidades do 5G e cita as bandas em 1,5 GHz, 2,3GHz e 3,5 GHz como recursos iniciais. Na agenda regulatória da Anatel, constam mais de 50 projetos regulatórios a serem iniciados ou aprovados, sendo 20 deles relacionados à gestão de espectro, incluindo faixas para IMT (1,5 GHz, 2,3 GHz e 3,5 GHz) e espectro compartilhado.

De acordo com estudo do Telebrasil, a faixa abaixo de 1 GHz fornecerá cobertura generalizada em áreas urbanas, suburbanas e rurais e ajudará a apoiar serviços de Internet das Coisas (IoT).

No Brasil, a faixa de 3,4 a 3,6 GHz, que será base de muitos serviços 5G iniciais, deve ser usada para fornecer cobertura e capacidade, pois no país, as frequências de 3,6 a 3,8 GHz já estão destinadas aos serviços via satélite. Adiante, outras faixas móveis existentes também sofrerão realocação para 5G ao longo do tempo.

A faixa acima de 6 GHz é necessária para atender as velocidades de banda larga ultra-altas previstas para o 5G e somente será possível se os governos apoiarem faixas adicionais para a banda larga móvel na Conferência Mundial de Radiocomunicações no WRC-19. As faixas prioritárias para a GSMA incluem 26, 32 e 40 GHz.

Em setembro de 2017, a Anatel apresentou, em nome do Brasil, o estudo que comprova a viabilidade técnica para se usar a faixa de 26 GHz (24,25-27,5 GHz) para o 5G. A preocupação do Brasil e de demais países que têm intenso uso da solução via satélite é evitar que haja interferência entre esses dois serviços na borda do espectro. Isso porque a banda Ka, propícia para a banda larga, está ocupando o espectro entre 27 GHz a 30 GHz. O estudo apresentado pelo Brasil consegue confirmar que o 5G, se chegar até a faixa de 27,5 GHz, não provoca interferência na transmissão via satélite, como temiam alguns países, como a Rússia. Esse estudo contribui para fortalecer a discussão em torno dessa banda para uso no 5G. Se for aprovada, serão reservados 3.250 MHz para os próximos serviços da rede móvel.

Em entrevista no maior evento de tecnologia móvel do mundo, o MWC (*Mobile World Congress*) que aconteceu em fevereiro de 2019, o presidente da Anatel Leonardo Euler de Moraes, afirmou que o edital do 5G, será publicado ainda no ano de 2019 e o leilão ocorrerá até março de 2020 no Brasil.

Segundo Moraes, serão colocados à venda 200 MHz na frequência de 3,5 GHz; 100 MHz na frequência de 2,3 GHz e 10 MHz da sobra da frequência de 700 MHz. Conforme o presidente da Anatel, haverá mudanças importantes no formato do edital a ser lançado. Serão exigidas metas de cobertura para as empresas que comprarem as frequências mais baixas e metas de capacidade para a frequência de 3,5 GHz, o que nunca havia sido exigido pela Anatel.

A frequência de 26 GHz, conhecida como milimétrica (*mmWave*), e que começa a ser vendida em outros países também para a 5G, não entrará nesta licitação. Conforme Moraes, os estudos internos estão avançados, mas não ficarão prontos a tempo para essa licitação.

Por fim, o presidente da Anatel afirma que o Brasil é o país latino-americano que já reservou a maior quantidade de espectro para o serviço celular e que o atual governo brasileiro tem tido uma voz muito assertiva no sentido de não privilegiar somente uma ótica arrecadatória, mas sim com objetivo de introduzir produtividade e dinamizar a indústria.

### 3.2.1 Ondas milimétricas

O 5G não só permitirá o uso de frequências mais altas na faixa de 3 a 6 GHz para implantações de macro/pequenas células, mas também abrirá novas oportunidades de largura de banda móvel para ondas milimétricas (*mmWave*). O espectro abundante disponível nessas altas frequências é capaz de fornecer velocidades e capacidade de dados extremas que remodelarão a experiência móvel.

No entanto, de acordo com o relatório *Making 5G NR a reality*, mobilizar o *mmWave* vem com seu próprio conjunto de desafios. As transmissões nessas bandas mais altas sofrem uma perda de trajetória significativamente maior, bem como a suscetibilidade ao bloqueio, enquanto que atender aos requisitos de potência também se mostrou desafiador. Assim, inicialmente as implementações tradicionais da *mmWave* têm sido limitadas a aplicações principalmente estacionárias, como o acoplamento sem fio de alcance mais curto, ativado por tecnologias como 802.11ad, que opera na faixa de 60 GHz.

Com os recentes avanços no processamento de sinais e tecnologias de antenas, a ideia de mobilizar e viabilizar as *mmWaves* não está longe de ser alcançada. Utilizando um grande número de elementos de antena na estação base e no dispositivo, juntamente com algoritmos inteligentes de *beamforming* e rastreamento de feixe, o 5G *mmWave* pode fornecer cobertura ampla, interferência reduzida, uma experiência de conectividade contínua mesmo para comunicações NLOS (*Non-Line-of-Sight*) e mobilidade para dispositivos.

Segundo Wei et al. (2014), no artigo *Key Elements To Enable Millimeter Wave Communications For 5G Wireless Systems*, para permitir as comunicações das *mmWave* nas futuras redes celulares 5G, ainda há muitos desafios e áreas de pesquisa que precisam ser abordadas. Wei et al. (2014) destacam seis elementos chave para ativar as comunicações do *mmWave* no 5G. Os primeiros três elementos estão relacionados às características de transmissão do *mmWave*: características do canal; tecnologias de *beamforming* devido à perda do caminho; e efeito de bloqueio devido ao curto comprimento de onda dos sinais *mmWave*. Os três últimos elementos chaves são preocupações decorrentes da aplicação de comunicações *mmWave* em cenários típicos de rede 5G: *mmWave* em comunicações D2D (device to device); *mmWave* em redes heterogêneas e *mmWave* para backhaul de pequenas células.

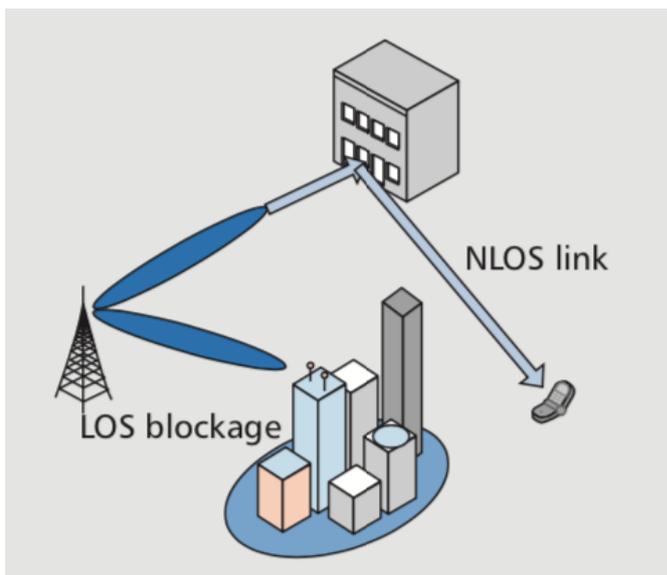
Para as características do canal *mmWave*, Wei et al. (2014) explicam que com o mesmo tamanho físico da antena *array*, a perda de propagação da transmissão *mmWave* pode ser comparável àquelas das bandas de frequência celular típicas, e, mostram que a atenuação da

chuva apresentará um impacto mínimo na propagação de *mmWave* para a estrutura de células pequenas (*small cells*).

Enquanto os sinais nas frequências mais baixas podem penetrar mais facilmente através dos edifícios, os sinais *mmWave* não penetram muito bem na maioria dos materiais sólidos. Devido ao curto comprimento de onda dos sinais *mmWave*, uma característica distinta das comunicações da *mmWave* é que os links da *mmWave* são suscetíveis a bloqueios, como paredes, madeira, vidro, árvores ou até mesmo o corpo humano e outros dispositivos.

Wei et al. (2014) destacam que uma possível abordagem para resolver o efeito de bloqueio é através de uma coleção de comunicações sem linha de visada (NLOS). Embora a reflexão e a difração reduzam o alcance das transmissões *mmWave*, também pode facilitar as comunicações de enlace NLOS. Quando uma quebra de enlace com visada direta acontece, o transmissor precisa procurar rapidamente contornar os obstáculos através de diferentes direções de feixe, de forma que o receptor possa coletar alguns sinais de enlace NLOS para manter a qualidade aceitável do canal, conforme pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 – Possível abordagem para resolver efeito de bloqueio com *mmWave*

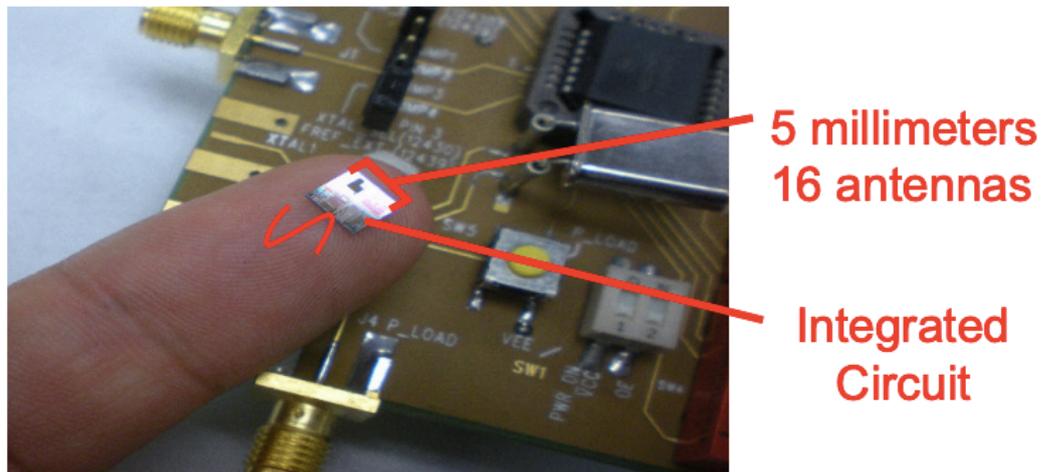


Fonte: *Key Elements To Enable Millimeter Wave Communications For 5G Wireless Systems* (2014).

Segundo artigo do IEEE, *5G and Beyond Technology Roadmap White Paper*, a FCC dos EUA liberou aproximadamente 30 vezes mais largura de banda em frequências de ondas milimétricas do que as disponíveis em bandas de celular para uso comercial. O espectro de ondas milimétricas permitirá maior volume de *throughput*, abrindo importantes espaços de

aplicações, como realidade virtual em tempo real. Aplicações como esta não poderiam ser suportadas sem a disponibilidade de larguras de banda instantâneas de 500 MHz, ou ainda mais, e baixas latências que não podem ser alcançadas nas atuais redes de celular. Vantagens adicionais incluem a redução da necessidade de agregação de portadora e de eficiência espectral para que as formas de onda de modulação com menor complexidade possam ser usadas.

Figura 22 - Imagem real de um CI de antena milimétrica



Fonte: Artigo *Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular* (2013).

Estudos recentes de Rappaport et al. (2013) sugerem que as frequências de ondas milimétricas poderiam ser usadas para aumentar as bandas de espectro de rádio atualmente saturadas de 700 MHz a 2,6 GHz para comunicações sem fio. A combinação de tecnologia CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) que agora pode operar bem nas bandas de frequência de onda de milimétricas e antenas direcionáveis de alto ganho na estação base e móvel, fortalece a viabilidade das comunicações sem fio de *mmWave* (ver Figura 22). Além disso, as frequências portadoras de *mmWave* permitem alocações de largura de banda maiores, que se traduzem diretamente em taxas de transferência de dados mais altas.

Rappaport et al. (2013) complementa em seu estudo que as frequências de ondas milimétricas, devido ao comprimento de onda muito menor, podem explorar a polarização e novas técnicas de processamento espacial, tais como MIMO massivo e *beamforming* adaptativo. Dado esse salto significativo na largura de banda e novas capacidades oferecidas pelas ondas milimétricas, os links entre estação base para dispositivos, bem como os links de *backhaul* entre estações base, serão capazes de lidar com capacidade muito maior do que as redes 4G atuais em áreas altamente povoadas. Além disso, conforme as operadoras continuam

a reduzir as áreas de cobertura de células para explorar a reutilização espacial e implementar novas arquiteturas cooperativas, como MIMO cooperativo, retransmissão e mitigação de interferência entre estações base, o custo por estação base cairá à medida que se tornar mais abundante e densamente distribuído em áreas urbanas, tornando o *backhaul* sem fio essencial para flexibilidade, implantação rápida e custos operacionais reduzidos.

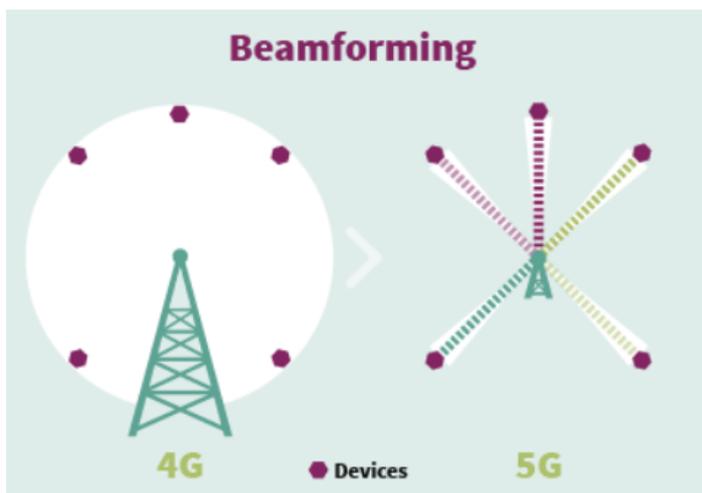
### 3.3 BEAMFORMING

Durante a maior parte da história da comunicação celular, fornecer ampla cobertura esteve sempre entre os principais objetivos das operadoras, que para alcançar essa finalidade se utilizam na maioria das vezes estações radio bases equipadas com antenas omnidirecionais ou divididas em setores.

Com o 5G, além de prever a cobertura, um dos pilares da nova geração será a capacidade. Por isso, somente a abordagem tradicional baseada em setorização não conseguirá suprir as reais necessidades que estão por vir, abrindo espaço para novas técnicas e tecnologias em antenas, como o *beamforming*. Na Figura 23 pode se observar a comparação da nova técnica de *beamforming* em 5G comparado a rede 4G.

Segundo Filgueiras (2018), o *beamforming* é a associação de múltiplas antenas para geração de um diagrama de radiação com capacidade ou não de guiamento de feixe. As técnicas de *beamforming* podem ser utilizadas tanto no transmissor quanto no receptor, a fim de aumentar a relação sinal ruído (*signal-to-noise ratio* ou SNR) e/ou a margem do *link budget* de comunicação para compensar as perdas do ambiente radiomóvel.

Figura 23 - Técnica de *beamforming* em 5G comparado ao 4G



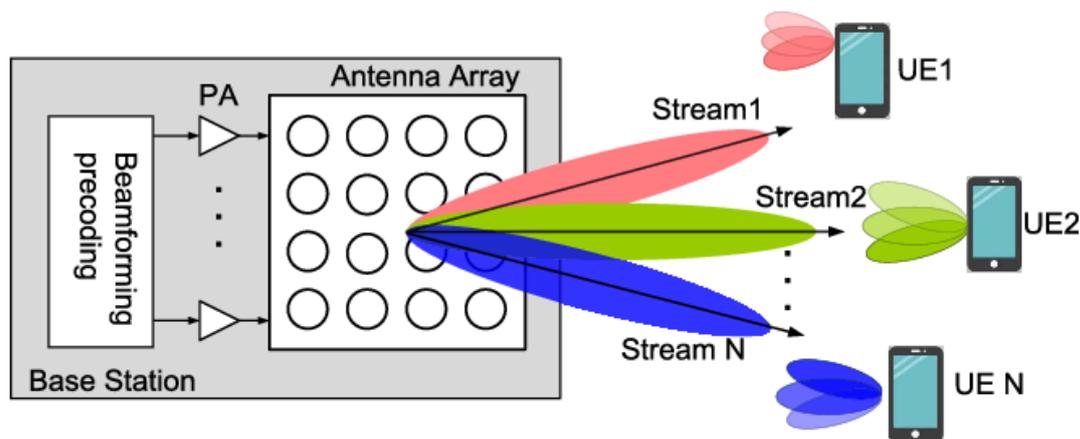
Fonte: 5G – *The high-speed mobile network of the future* (2018).

Nordrum e Clark (2017) no artigo do IEEE Spectrum, explicam que *beamforming* é comparado a um sistema de sinalização de tráfego, onde as estações de base de celular identificam a rota de entrega de dados mais eficiente para um usuário específico e reduz a interferência para usuários próximos no processo.

Ainda de acordo com Nordrum e Clark (2017), para ondas milimétricas, o *beamforming* pode ser utilizado para resolver um conjunto diferente de problemas, onde talvez o principal seja o problema de enfraquecimento de sinal a medida que distância aumenta e/ou se inclui mais obstáculos entre o transmissor e receptor. Nesse caso, o *beamforming* pode ajudar concentrando um sinal em um feixe concentrado que aponta apenas na direção de um usuário, em vez de transmitir em várias direções ao mesmo tempo. Essa abordagem pode reforçar as chances de o sinal chegar intacto e reduzir a interferência para todos os outros.

Passoja (2019) destaca que o *beamforming* usa múltiplas antenas para controlar a direção de uma frente de onda, ponderando apropriadamente a magnitude e a fase de sinais de antenas individuais em uma matriz de múltiplas antenas (*array of multiple antennas*) conforme Figura 24. Ou seja, o mesmo sinal é enviado de múltiplas antenas que possuem espaço suficiente entre elas, pelo menos  $\frac{1}{2}$  comprimento de onda. Em qualquer localização, o receptor receberá assim várias cópias do mesmo sinal. Dependendo da localização do receptor, os sinais podem estar em fases opostas, destruindo destrutivamente calculando a média uns aos outros, ou construtivamente se as diferentes cópias recebidas estiverem na mesma fase.

Figura 24 - Representação da transmissão de sinal utilizando técnicas de *beamforming* com arranjo de antenas *array*



Fonte: Artigo IEEE - *Compact Tapered Slot Antenna Array for 5G Millimeter-Wave Massive MIMO Systems* (2017)

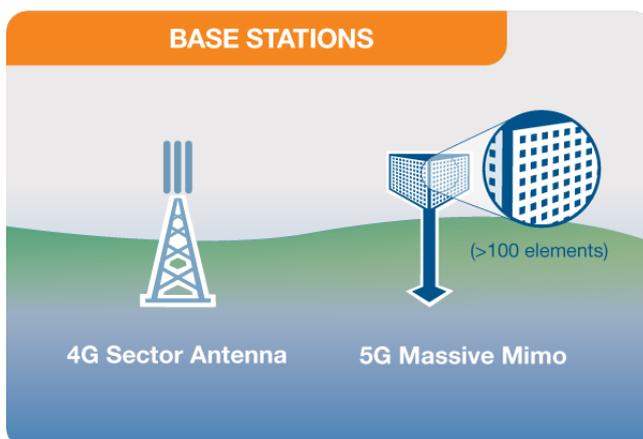
Michael Brobston, especialista em tecnologia relata em estudo, que o uso de *beamforming* em redes móveis oferece várias vantagens em relação aos padrões de antena setorizada usados nas gerações anteriores e atuais. Nessas redes, as estações base transmitem os recursos de canal designados para um usuário específico em todo o setor, portanto, apenas uma porcentagem muito pequena da energia é irradiada na direção do usuário pretendido. Com o *beamforming*, o uso de um feixe diretivo concentra a intensidade do sinal transmitido e a sensibilidade do receptor na direção do link sem fio pretendido, aumenta o alcance do link e a taxa de transferência disponível à medida que se deslocam para um determinado usuário móvel.

À medida que as operadoras escalam a implantação de redes 5G, o *beamforming* continuará sendo um elemento essencial no fornecimento de experiências que satisfaçam os usuários e gerem crescimento de receita, inclusive em novos segmentos de mercado. No contexto do 5G usando frequências de ondas milimétricas, o *beamforming* é imperativo para fornecer serviço gigabit pelo ar.

### 3.4 MASSIVE MIMO

Uma das principais áreas de inovação em comunicações sem fio está nas tecnologias avançadas de antenas. Usando mais antenas de forma inteligente, pode-se melhorar a capacidade e a cobertura da rede. Ou seja, mais fluxos de dados espaciais podem aumentar significativamente a eficiência espectral, permitindo que mais bits sejam transmitidos, e conforme apresentado com técnicas de *beamforming* pode-se estender o alcance das estações base concentrando energia RF em direções específicas.

Figura 25 - Diferença entre estações base atuais vs 5G massive mimo



Fonte: Site EMF 5G Explained - How 5G Works (2018)

No LTE hoje, as redes estão evoluindo de 2x2 para 4x4 MIMO (*multiple input multiple output*), com ainda mais antenas à vista. No entanto, há uma limitação intrínseca em quantas antenas pode-se encaixar de forma realista em um dispositivo, especialmente em frequências mais baixas, onde as antenas são grandes devido ao maior comprimento de onda. Mas uma forma de aumentar ainda mais a capacidade sem adicionar mais antenas é ter mais antenas nas estações base (ver Figura 25).

De acordo com o relatório *Making 5G NR a reality*, o 5G suportará MIMO massivo que pode utilizar um número ainda maior de elementos de antena, suportando até 256, conforme definido atualmente na especificação do IMT-2020 e pode ser observado na Figura 26.

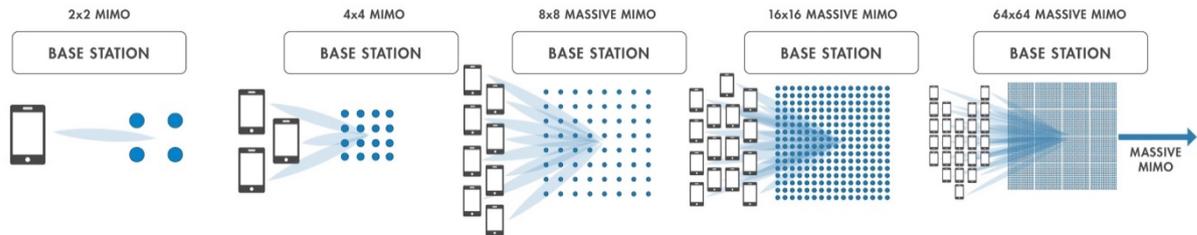
Figura 26 - Número de antenas e capacidade de dados

Number of Antenna Ports	Radio Channel Bandwidth			
	10 MHz	20 MHz	200 MHz	1GHz
2	1 Gbps	2 Gbps	20 Gbps	100 Gbps
8	4 Gbps	8 Gbps	80 Gbps	400 Gbps
64	32 Gbps	64 Gbps	640 Gbps	3,200 Gbps
256	128 Gbps	256 Gbps	2,560 Gbps	12,800 Gbps

Fonte: ITU *Technical Report* (2018)

Segundo artigo do IEEE, *5G and Beyond Technology Roadmap White Paper*, a tecnologia MIMO tem sido considerada uma abordagem vital para melhorar a eficiência espectral de sistemas de comunicações sem fio nos últimos 20 anos. Em sistemas 4G, o número de antenas suportadas na estação base não pode ser maior que 64 e, assim, o ganho de desempenho do MIMO é bastante limitado. Para sistemas 5G, para melhorar ainda mais a eficiência espectral e a eficiência energética, uma nova técnica denominada antenas de grande escala foi proposta para atender a múltiplos usuários no mesmo recurso de frequência-tempo. Conforme mostra a Figura 27, o MIMO massivo usa centenas, se não milhares de antenas.

Figura 27 - Representação de sistema Massive MIMO



Fonte: Site *MathWorks - Large-scale antenna systems for 5G wireless systems* (2019)

De acordo com Wang et al. (2014), os sistemas MIMO consistem em múltiplas antenas no transmissor e no receptor. Assim, uma melhoria significativa no desempenho pode ser obtida em termos de confiabilidade, eficiência espectral e eficiência energética. Em sistemas MIMO massivos, o transmissor e/ou receptor são equipados com um grande número de elementos de antena, tipicamente dezenas ou até centenas. Wang et al. (2014) destaca que em sistemas MIMO massivos, os efeitos de ruído e desvanecimento rápido desaparecem, e a interferência intracelular pode ser mitigada usando métodos simples de pré-codificação e detecção linear. Usando adequadamente o MIMO multiusuário (MU-MIMO) em sistemas MIMO massivos, a camada de controle de acesso ao meio (MAC) pode ser simplificada evitando algoritmos complicados de programação e assim a estação base pode enviar sinais separados para usuários individuais usando o mesmo recurso de frequência e tempo. Essas vantagens permitem que o sistema MIMO massivo seja considerado promissor para redes de comunicação sem fio 5G.

## 4 ARQUITETURA DA REDE 5G

Para resolver os desafios citados até então e atender aos requisitos do sistema 5G, será necessária uma mudança radical no design da arquitetura celular.

Segundo relatório *Making 5G NR a reality*, o *core network* da próxima geração alavancará funções de rede virtualizadas para criar *slices* (fatias) de rede otimizadas para uma ampla gama de serviços hospedados na mesma rede física. Cada fatia da rede pode ser configurada independentemente para fornecer conectividade de ponta a ponta com o 5G NR, que é otimizado para as aplicações necessárias. Além de permitir uma alocação e utilização de recursos mais eficiente, o *core network* da rede 5G também oferecerá aprimoramentos na ativação de modelos de assinaturas flexíveis para operadoras e a criação dinâmica de serviços que são especialmente úteis para conectar uma ampla gama de novos serviços e dispositivos.

A corrida para o 5G já está em andamento e com muitas operadoras participando ativamente. Algumas ainda estão em fase de planejamento, mas muitas anunciaram seu envolvimento em testes ou redes piloto pré-comerciais. A GSMA informou que em novembro de 2018, havia 192 operadoras ativamente envolvidas em experiências, testes ou em processo de licenciamento do 5G.

### 4.1 STAND ALONE E NON-STANDALONE

A partir do momento em que as operadoras móveis decidirem iniciar a implantação do 5G em suas redes, Teral (2019) apresenta que as operadoras terão que escolher entre implantar uma rede 5G *Standalone* (SA) completa que ofereça experiência E2E (*end to end*) 5G, ou implantar uma rede 5G *Non-StandAlone* (NSA) para ser complementada e suportada pela rede LTE. Enquanto a primeira opção levará tempo para se desenvolver, a última oferece benefícios limitados de 5G confinados à melhoria em alguns KPIs da rede (ver Figura 28).

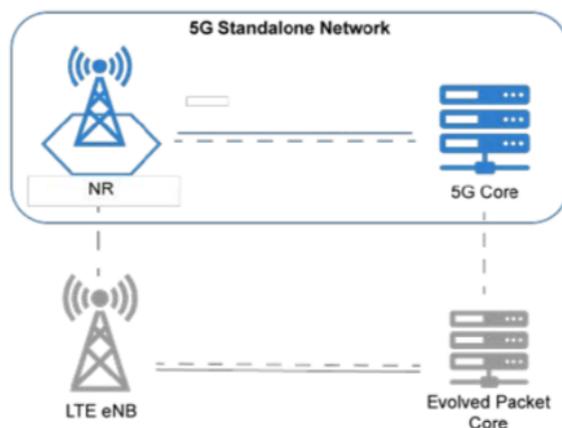
Figura 28 – Arquitetura 5G SA vs NSA

	Standalone (SA)	Non-standalone (NSA)
<b>Investment needed</b>		
Short-term	High	Low to medium
Long-term	N/A	High
<b>Spectrum availability</b>		
Sub-6GHz band	Best choice for good network coverage	Depends on LTE network for good coverage
mmWave band	Can work with SA by using hotspot-based network	Needed for hotspot-based network deployment
<b>Service offerings</b>		
	Covers all use cases including eMBB and those dependent on URLLC and mMTC.	Supports only eMBB use cases
<b>Network KPIs</b>		
Data rate (DL/UL)	20Gbps/10Gbps	20Gbps/10Gbps
Latency	1ms	4ms
Network density	1 mil devices per km <sup>2</sup>	1 mil devices per km <sup>2</sup>

Fonte: Relatório *5G Best Choice Architecture* (2019).

De acordo com Teral (2019), em seu relatório *5G Best Choice Architecture*, uma rede *StandAlone* refere-se a ter uma rede independente 5G com uma nova interface aérea 5G *New Radio* (NR) e o novo 5G *Core* (5GC) na arquitetura. Dessa forma, uma rede 5G independente fornece ao usuário uma experiência 5G de ponta a ponta e ainda terá interoperabilidade com a rede 4G/LTE existente para fornecer continuidade de serviço entre as duas gerações de rede, conforme pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 - Arquitetura da rede 5G modo SA



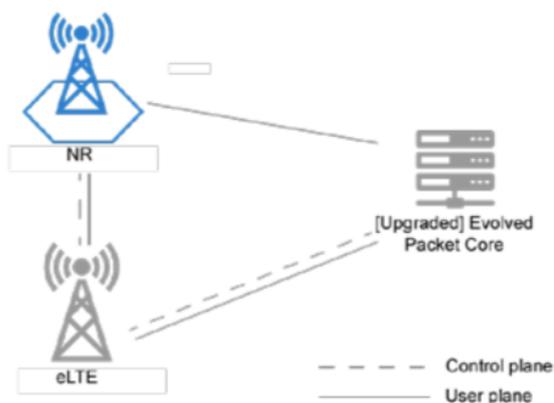
Fonte: Relatório *5G Best Choice Architecture* (2019).

Teral (2019) destaca que o 5G Core é verdadeiramente uma nova geração de rede *core* móvel, projetado para ser *cloud native* e altamente dependente da virtualização. O 5GC permitirá que as operadoras estendam as ofertas de serviços para além da banda larga móvel aprimorada (eMBB) e introduzam novos serviços, como comunicações ultraconfiáveis de baixa latência (URLLC) e comunicações massivas de máquina (mMTC).

Devido às tecnologias de nuvem e virtualização, as operadoras podem implantar 5GC de qualquer tamanho e capacidade, além de adicionar instâncias de cada função 5GC conforme necessário.

Por outro lado, Teral (2019) destaca que a rede 5G Non-StandAlone, utiliza apenas células 5G NR mas com EPC como *core* da rede (ver Figura 30). Sendo assim, as operadoras irão implantar células 5G e depender inteiramente da rede LTE existente para todas as funções de controle e serviços adicionais.

Figura 30 - Arquitetura da rede 5G modo NSA



Fonte: Relatório *5G Best Choice Architecture* (2019).

Segundo Teral (2019), a arquitetura de duas redes, SA e NSA, é compatível com 3GPP que foram introduzidas no *release 15* e complementa que a viabilidade depende em grande parte de fatores externos, como prontidão do equipamento, disponibilidade do equipamento do usuário e complexidade da implantação.

Quadro 3 - Comparativo do *Core Network* e RAN em redes 5G

		Vantagens	Desvantagens
Radio Access Network	SA	<p>Simples de gerenciar</p> <p><i>Handover</i> entre as gerações 4G-5G</p>	<p>Não consegue aproveitar as implantações LTEs existentes se o NR é usado</p>
	NSA	<p>Aproveita as implantações de LTE existentes</p>	<p>Interoperação delicada/difícil entre LTE e NR</p>

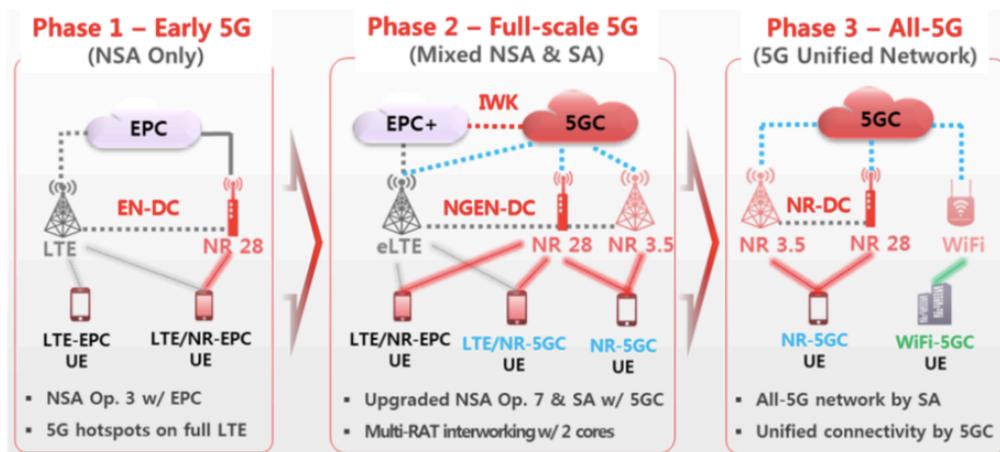
			Podem impactar a experiência do usuário
Core Network	EPC	Aproveite a implantação de EPC existente	Suporte a <i>Cloud</i> é opcional
	5GC	Estrutura em <i>Cloud</i> nativa Simples de suportar múltiplos acessos	Novas implantações necessárias

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Portanto, ao contrário das gerações anteriores que exigiam que tanto o acesso, quanto o *core* da rede fossem implantados da mesma geração, com o 5G é possível integrar elementos de diferentes gerações em diferentes configurações e isso pode ser observado no Quadro 3.

Segundo o relatório *Road to 5G Introduction and Migration*, existem diversas opções para iniciar a migração para redes 5G, e se imagina que esta acontecerá por etapas. A operadora Korea Telecom apresentou uma visão de *roadmap*, considerando sua estratégia de introdução no mercado 5G conforme Figura 31.

Figura 31 - Possível plano de migração para redes 5G



Fonte: Relatório *Road to 5G Introduction and Migration* (2018).

## 4.2 NETWORK SLICING

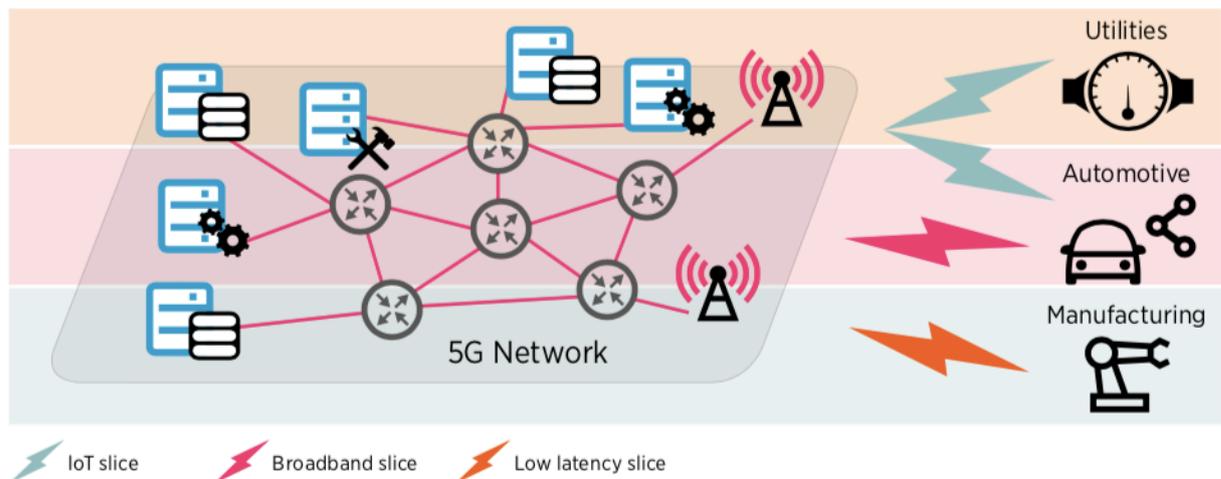
Dentre os recursos que acompanham o 5GC, Teral (2019) explica que o mais notável de todos é o *Network Slicing* (fatiamento da rede) pois é ele que permite que as operadoras apliquem e ofereçam diferentes tipos de QoS (*Quality of Service*) para diferentes casos de uso.

Por exemplo, uma operadora pode dedicar uma fatia de rede a comunicações de veículo para veículo (V2V) e essa fatia de rede fará uso da URLLC para fornecer canais de comunicação que são críticos para a missão e sensíveis à latência.

No Relatório *An Introduction to Network Slicing*, realizado pelo grupo GSMA, do ponto de vista de uma operadora de telefonia móvel, *network slice* é uma rede lógica ponta-a-ponta independente que é executada em uma infraestrutura física compartilhada, capaz de fornecer uma qualidade de serviço negociada.

O Grupo 5GPPP em seu artigo *View on 5G Architecture*, afirma que até 2020, a rede 5G do futuro envolverá a integração de várias redes entre domínios, e os sistemas 5G serão construídos para permitir fatias lógicas de rede em vários domínios e tecnologias para criar redes específicas para serviços. O fatiamento da rede deve realizar a visão de ponta a ponta (E2E) a partir da borda móvel, continuando pelo transporte móvel, incluindo segmentos *fronthaul* (FH) e *backhaul* (BH), e até a rede *core*. Isso permitirá que as operadoras forneçam suas redes como serviço e atendam à ampla gama de casos de uso que o cronograma de 2020 exigirá.

Figura 32 - Redes 5G subdivididas em redes virtuais otimizada para cada caso de negócio



Fonte: Relatório *An Introduction to Network Slicing* (2017).

Segundo Oliveira, Alencar e Lopes (2018), o objetivo do *network slicing* é criar instâncias virtuais de rede dedicadas para diferentes serviços (ver Figura 32). A fatia de rede pode ser considerada como uma coleção de funções da rede móvel necessária para operar do começo ao fim de uma rede móvel lógica. Assim, uma única rede física pode ser particionada em múltiplas redes virtuais, permitindo que a operadora ofereça suporte dedicado para diferentes tipos de serviços ou usuários.

Oliveira, Alencar e Lopes (2018) concluem que o grande benefício da operadora no uso do fatiamento de rede é a eficiência operacional com a redução do tempo para lançamento de novos serviços.

Segundo artigo do IEEE, *5G and Beyond Technology Roadmap White Paper*, análises preditivas e semânticas poderosas, incluindo aprendizado de máquina e inteligência artificial, ajudarão a garantir a qualidade do serviço para todas as fatias de rede em operação simultânea. Essa entrada de dados de fluxo contínuo de fontes de entrada disponíveis em todas as partes, incluindo dados de suporte e de negócios, precisa ser analisada e as informações devem ser aproveitadas para otimizar as operações e garantir a qualidade do serviço aos usuários finais.

De acordo com o relatório *An Introduction to Network Slicing*, o principal recurso do *networking slicing* é a capacidade de personalizar os recursos e a funcionalidade que uma rede móvel oferece aos clientes corporativos. Esse serviço personalizado pode ser separado logicamente em dois componentes: Serviço de Conexão de Rede ou Serviço de Recursos de Rede.

O Serviço de Conexão de Rede compreende um conjunto de atributos técnicos que determinam o comportamento da fatia, bem como a topologia e a distribuição geográfica de uma fatia. Tais atributos citados no relatório da GSMA incluem:

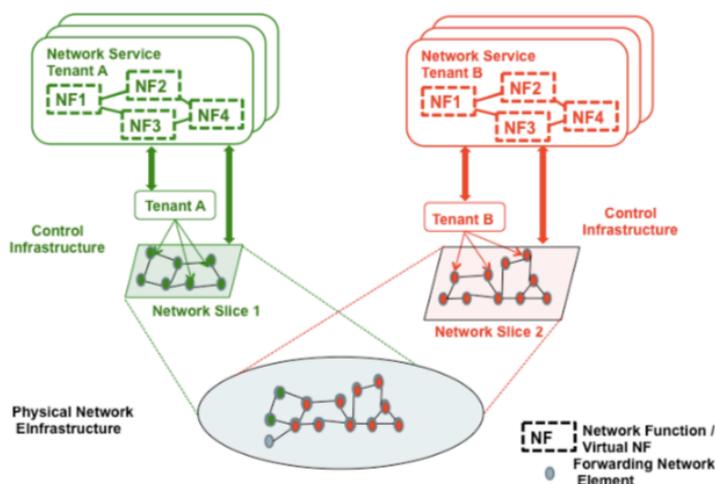
- a) Latência quase em tempo real;
- b) Altas e estáveis altas velocidades de upload e download;
- c) SLA garantido;
- d) Cobertura para garantir uma experiência de serviço perfeita entre redes e fronteiras;
- e) Gerenciamento de dispositivos conectados;
- f) Mobilidade contínua para entrega de serviços ininterrupta e qualidade estável;
- g) Eficiência energética;
- h) Segurança de dados para satisfazer requisitos de segurança e privacidade.

Além desses serviços de recursos de rede, a rede é capaz de oferecer serviços de plataforma adicionais. O relatório *An Introduction to Network Slicing*, realizado pelo grupo GSMA detalha exemplos de elementos de tecnologia que podem ser usados para personalizar os serviços da plataforma das operadoras:

- a) *Big Data Analytics* que pode ser oferecida como um serviço para apoiar o gerenciamento de dados para orquestração de processos ou ecossistemas complexos;
- b) Gerenciamento de ID / Ativo para autenticação automatizada, em tempo real e segura;
- c) Segurança da plataforma como um serviço para fornecer vários níveis de segurança;
- d) Cobrança dinâmica de interações em tempo real;
- e) *Cloud computing*;
- f) Computação de ponta para computação distribuída e armazenamento de dados para serviços com requisitos de baixa latência;
- g) Integração de parceiros para integração fácil e instantânea de parceiros;
- h) Posicionamento como um serviço que é adaptado aos requisitos do serviço;
- i) APIs que fornecem diferentes recursos de controle e gerenciamento.

De acordo com o Grupo 5GPPP em seu artigo *View on 5G Architecture*, o *network slicing* fornece os meios pelos quais as operadoras da rede podem fornecer recursos programáveis de rede para provedores OTT (provedor de serviço Over The Top) e outros participantes do mercado sem alterar sua infraestrutura física. As fatias podem oferecer suporte a vários serviços dinâmicos e meios de integração para players de mercado como a indústria automotiva, a indústria de energia, a indústria de assistência à saúde, a indústria de mídia e entretenimento, conforme Figura 33.

Figura 33 - Representação do Network Slicing segundo 5GPPP



Fonte: Relatório *View on 5G Architecture* (2017).

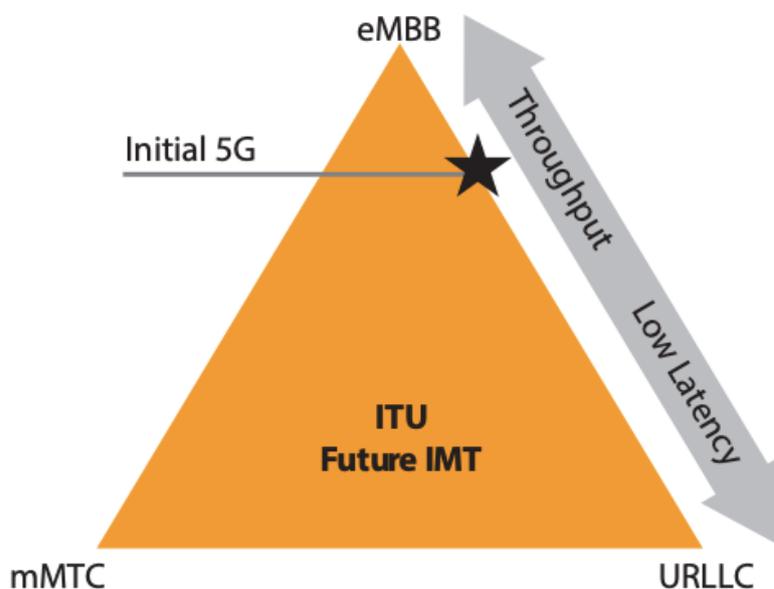
## 5 APLICACÕES DA TECNOLOGIA 5G

Todas as tecnologias citadas até o momento são impulsionadas por aplicações e serviços que visam de alguma forma beneficiar a sociedade. Até as redes 4G, as aplicações foram movidas por recursos de rede disponíveis, oferecendo serviços principalmente focados em comunicação de voz e dados. No entanto, com o surgimento de uma nova geração de aplicações *over-the-top* (OTT), serão necessários novos recursos que definirão e impulsionarão a rede 5G para uma nova era de aplicações.

Segundo artigo do IEEE, *5G and Beyond Technology Roadmap White Paper*, a rede 5G permitirá os provedores e operadoras de serviços a criar novas plataformas para permitir a próxima geração de aplicações, além de desenvolver novos modelos de negócios. *Streaming* de vídeo e aplicações baseadas em IoT são os atuais “*killers applications*” que combinados com os recursos de realidade virtual e aumentada, criarão oportunidades em vários setores.

De acordo com o estudo da GSMA, *The 5G era in the US 2018*, a maioria das operadoras de comunicação móvel em todo o mundo indicam que a banda larga móvel aprimorada (eMBB) será a principal proposta nas primeiras implementações de 5G, com comunicações IoT massivas e ultraconfiáveis de baixa latência ganhando escala em um estágio posterior, conforme Figura 34.

Figura 34 - Ponto de partida para os casos de uso definidos pelo IMT 2020



Fonte: Relatório *A New Era for Enhanced Mobile Broadband (2018)*

De acordo com o relatório *A New Era for Enhanced Mobile Broadband (2018)* os requisitos essenciais para a rede sem fio nesse primeiro estágio são respectivamente: largura de banda, latência e capacidade.

A fase inicial das implantações 5G estão no lado do triângulo eMBB-URLLC mais próximo do eMBB. O caso de uso MTC (*machine type communication*) testemunha com certa timidez ainda o surgimento das tecnologias NB-IoT e eMTC da 3GPP Release 13, enquanto o URLLC completo exigirá a implantação de 5G Core para a redução total da latência de E2E. As aplicações de missão crítica que são especialmente exigentes no quesito latência, também exigem cobertura em grande escala, o que é difícil de imaginar nas implantações iniciais.

O relatório *A New Era for Enhanced Mobile Broadband (2018)* destaca que no primeiro estágio, espera-se um crescimento adicional da largura de banda, complementado por melhorias de latência no 5G NR, mas também no LTE. Isso ajudará a desenvolver os casos de uso de banda larga móvel de hoje para alavancar aplicações emergentes de AR/VR (realidade aumentada/realidade virtual), vídeo 360 UHD e outras aplicações.

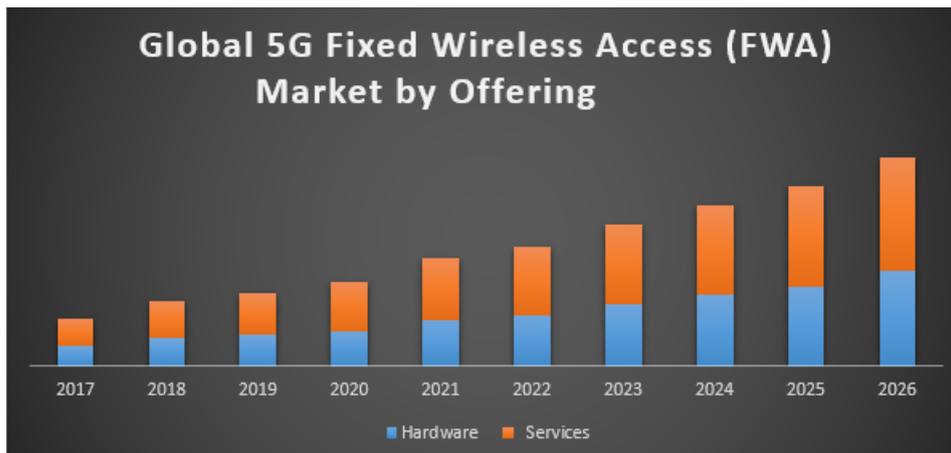
## 5.1 BANDA LARGA

Podemos considerar que o 5G estará disponível em duas formas de acesso de alto nível: como um serviço móvel onde é possível acessar através de dispositivos móveis em qualquer lugar, com ou sem mobilidade, e também como um serviço de acesso fixo FWA (*fixed wireless access*) que funciona em um único local.

Segundo dados da Ericsson em seu artigo *Making fixed wireless access a reality (2018)*, cerca de metade de todos os lares do mundo - mais de 1 bilhão - não possuem conexão de banda larga fixa. Dada a atual velocidade e capacidade das redes de telefonia celular com LTE e sua evolução para 5G, há oportunidades significantes para as operadoras fornecerem serviços de banda larga para residências e pequenas e médias empresas usando FWA (*Fixed Wireless Access*).

Uma pesquisa recente feita pela empresa Maximize Market Research, *Global 5G Fixed Wireless Access Market (FWA) – Industry Analysis and Forecast (2018-2026)*, mostrou que o mercado global de acesso sem fio Fixo 5G (FWA) foi avaliado em US\$ 352 Milhões em 2017 e deve chegar a US\$ 94.566 Milhões até 2026, a um CAGR (taxa de crescimento anual composta) de 101,21% durante um período de previsão (ver Figura 35).

Figura 35 - Previsão de mercado para o FWA



Fonte: *Maximize Market Research (2019)*

De acordo com artigo publicado pela GSMA, *Fixed Wireless Access: Economic Potential and Best Practices* (2018), o FWA não é um conceito novo, pois já tem sido usado como um substituto para a conexão com fio na última milha e é comparável ao FTTX (Fiber-to-the-x), pois ambas são soluções de alta conectividade para a borda da rede.

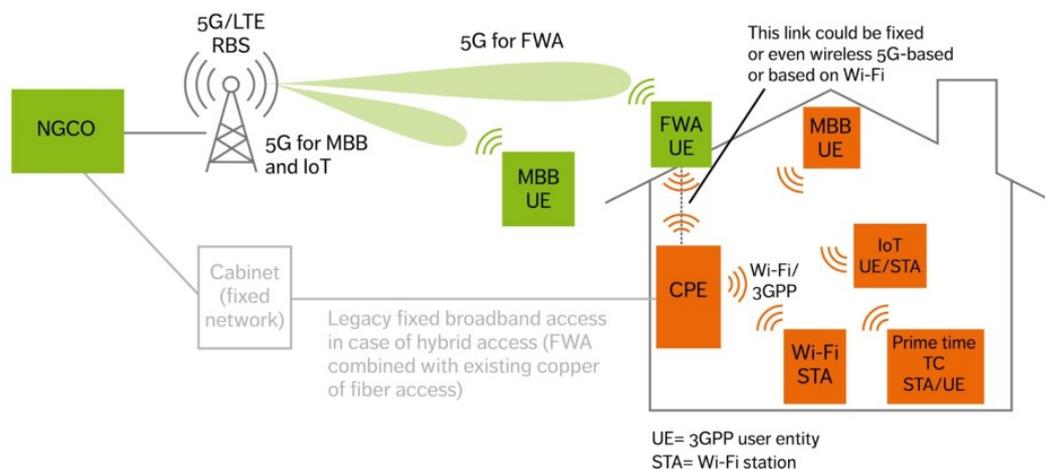
O artigo destaca que um grande benefício do FWA é relacionado aos custos operacionais e de implantação que são relativamente baixos em comparação com a infraestrutura cabeada que fornece acesso de banda larga aos usuários. A Huawei estima que o custo total por linha de banda larga comparado ao FTTx é significativamente maior que o do FWA. Concentrando-se apenas no CAPEX, o FTTx custa aproximadamente de US\$ 500 a US\$ 1.000 por assinante, enquanto a rede de transporte sem fio (FWA) custaria aproximadamente de US\$ 100 a US\$ 400.

A economia do FWA pode não ser tão boa quanto a da infraestrutura fixa legada, como a DSL, mas as operadoras devem considerar os recursos avançados que podem ser entregues principalmente com a tecnologia 5G e não são possíveis com a DSL. Experiências com o FWA fornecendo serviços de banda larga ao consumidor sugerem que o custo por bit para conectar uma residência à banda larga pode ser reduzido em 74% quando comparado com as conexões de rede fixa.

Além disso, o artigo publicado pela GSMA destaca que a implementação de inovações de rádio, como MIMO massivo com *beamforming*, pode reduzir ainda mais o custo para 80% em comparação com as conexões com fio, uma vez que os custos de investimento para desenvolver essas tecnologias foram absorvidos. A redução de custo permite que as operadoras implantem com rapidez e flexibilidade a conexão de dados para os casos de uso pretendidos.

Usar o FWA para fornecer serviços de banda larga requer o uso de uma nova CPE FWA, com um ou mais dispositivos internos para fornecer sinal indoor e uma unidade fixa instalada ao ar livre para receber o sinal da ERB. A Figura 36 apresenta uma alternativa para implantação de FWA.

Figura 36 - Alternativa de implantação de FWA



Fonte: Relatório *Fixed wireless access on a massive scale with 5G* (2016)

De acordo com o artigo *Leading the Way in 5G Fixed Wireless Access* (2018), alguns casos de uso potencial para o FWA 5G incluem aplicações de VPN, comunicações unificadas, acesso à internet gigabit e streaming de vídeo 4K, serviços que seriam desafiadores para fornecer na infraestrutura de rede fixa legada. Diversos segmentos de clientes, desde empresas, universidades, hospitais até clientes residenciais podem se beneficiar dos casos de uso habilitados. O FWA contribuirá também para aliviar a pressão de *backhaul* de rede móvel, permitindo descarregar parte do tráfego que seria entregue através de conexões de celular, bem como estender o alcance e a capacidade da rede da operadora de telefonia móvel.

A operadora AT&T, em cooperação com a Ericsson, Nokia, Samsung e Intel, liderou a avaliação do FWA conduzindo vários testes que ajudaram a esclarecer como a tecnologia atua em um ambiente de negócios. A AT&T tem usado o espectro de ondas milimétricas (*mmWave*) juntamente com protótipos de rádio e antena 5G RAN e um core 5G totalmente virtualizado.

De acordo com o relatório da GSMA, a operadora conseguiu atingir desempenho superior com *throughput* na faixa de gigabits por segundo e latência de menos de 10ms nas avaliações do *5G Fixed Wireless Access*. Os ensaios também demonstraram que não houve

impacto significativo no sinal 5G *mmWave* devido a eventos climáticos como chuva e que o desempenho do sinal para materiais por exemplo, folhagem, vidro e parede foi melhor que o esperado em alguns locais. A Figura 37 apresenta os principais resultados do ensaio.

Figura 37 - Resultados e principais pontos no teste de FWA com a operadora AT&T

Location	Customer segment	Performance	Highlights
Austin, Texas	Local businesses	1Gbps speed & <10ms RAN latency	Enterprise trial in 2016, residential and small business trials in 2017.
Waco, Texas	Retail shopping centre	1.2Gbps speed & 9-12ms RAN latency in 150m range	400MHz bandwidth in 28GHz band
Kalamazoo, Michigan	Small businesses	1Gbps speeds in 275m range (line of sight)	No significant impact on 5G <i>mmWave</i> signal performance due to rain and better than expected performance in some locations (based on e.g., foliage, glass and wall)
South Bend, Indiana	Small business and residential customers	Gigabit speed and extremely low latency in both line of sight and non-line of sight conditions	Full end-to-end 5G network architecture, including the 5G radio system and core

Fonte: Relatório *Leading the Way in 5G Fixed Wireless Access (2018)*

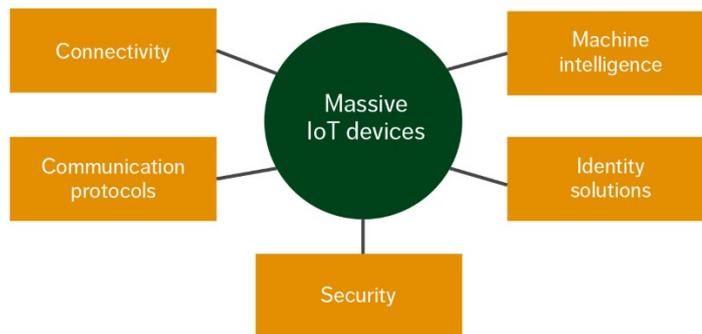
## 5.2 IOT MASSIVO

Em termos de conectividade na rede 5G, a revolução da Internet das Coisas é um facilitador fundamental, fornecendo comunicações máquina para máquina (M2M) e de máquina para pessoa em grande escala. Com novos padrões voltados para os requisitos de conectividade para o *Massive IoT*, as redes de celular podem fornecer serviços diversos de IoT confiáveis, seguros usando a infraestrutura de rede existente.

De acordo com Lundqvist et al. (2019), no artigo *Key technology choices for optimal massive IoT devices*, massive IoT refere-se a aplicações que são menos sensíveis à latência e têm requisitos de taxa de transferência relativamente baixos, mas exigem um grande volume de dispositivos de baixo custo, baixo consumo de energia e uma rede com excelente cobertura.

Exemplos de áreas de aplicação de IoT massivo incluem: *wearables (e-health)*; rastreamento de ativos (logística); cidade inteligente/casa inteligente, monitoramento ambiental e medição inteligente; e fabricação inteligente (monitoramento, rastreamento e provisionamento). A Figura 38 apresenta as principais tecnologias para habilitar o IoT massivo.

Figura 38 - Tecnologias chave para dispositivos de IoT massivo



Fonte: Relatório *Key technology choices for optimal massive IoT devices (2019)*

Segundo Kim (2019) no artigo *5G and Massive IoT: legacy technologies will bridge the gap for now (2019)*, o termo Massive IoT ou IoT Massivo, é uma descrição adequada do enorme número de sensores e dispositivos IoT que se comunicam entre si. A documentação de requisitos mínimos para o padrão IMT-2020 requer uma densidade de conexão mínima de 1 milhão de dispositivos para cada quilômetro quadrado. Em comparação, o padrão 4G LPWA suporta 60.680 dispositivos com o mesmo tamanho de cobertura, muito longe do que o 5G pode oferecer.

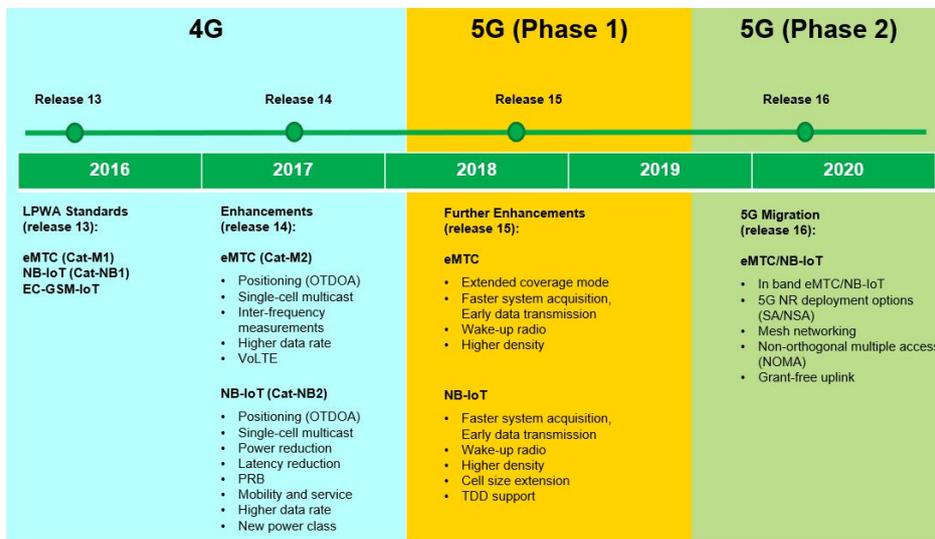
Para atender aos requisitos do Massive IoT, o 3GPP tomou medidas evolucionárias tanto no lado da rede quanto no lado do dispositivo. Nenhuma tecnologia ou solução única é ideal para todas as diferentes aplicações potenciais de IoT em massa, situações de mercado e disponibilidade de espectro.

Kim (2019) destaca que para alcançar uma visão em que milhões de dispositivos são conectados, dois requisitos devem ser satisfeitos. No lado técnico, o padrão IoT deve oferecer escalabilidade e versatilidade, oferecendo capacidade suficiente e eficiência de rede para conectar milhões de dispositivos e também recursos avançados, como maior duração da bateria e maior área de cobertura, para facilitar a expansão de novos usos casos. Do lado da aplicação, muitos outros novos casos de uso precisam ser desenvolvidos e testados.

O artigo *5G and Massive IoT: legacy technologies will bridge the gap for now (2019)* mostra que no release 15 foram incluídas as primeiras especificações 5G para o Massive IoT, porém o primeiro módulo 5G IoT massivo deve ser lançado somente no final de 2019 ou no início de 2020 (ver Figura 39). Até que os módulos 5G Massive IoT entrem no mercado, os

padrões LTE-M e NB-IoT baseados em 4G serão os padrões mais avançados para aplicativos IoT massivos.

Figura 39 - Roadmap para o Massive IoT



Fonte: Relatório *Leading the Way in 5G Fixed Wireless Access (2018)*

Ambas as tecnologias sem fio LPWAN baseada em 4G e NB-IoT foram lançados no início de 2017, recebendo muita atenção. Mas, embora mais de 50 operadoras de telefonia móvel tenham anunciado implantações de rede de LTE-M ou NB-IoT até o final de 2018, a adoção das duas tecnologias pelo mercado tem sido lenta.

Dois grandes fatos recentes mostram uma possível virada positiva para acelerar a adoção do massive IoT. Primeiro, o preço dos módulos IoT de baixa potência vem caindo rapidamente. De acordo com Kim (2019), na China os módulos 2G estão sendo vendidos por menos de US \$ 2, enquanto os módulos NB-IoT estão sendo vendidos por US\$ 3. Os preços mais baixos dos módulos 2G e NB-IoT foram os principais contribuintes para o crescimento e aceleração do número de conexões de IoT na China.

Em segundo lugar, cidades inteligentes e projetos de serviços públicos em cidades metropolitanas de todo o mundo estão começando a impulsionar o crescimento das conexões de IoT. Por exemplo, a Tianjin Utilities na China, atualmente está adicionando 4 milhões de medidores de gás inteligente.

O 5G para o mMTC é baseado em melhorias do LTE-M e NB-IoT e promete aprimorar 3 características importantes: a cobertura, a densidade do dispositivo e a vida útil da bateria.

Espera-se que o 5G ofereça cobertura acima de 164 dB *Maximum Coupling Loss* (MCL), de modo que as transmissões avancem e sejam mais propensas a atingir seu alvo ao passar por muros de cimento ou viajar no subsolo.

A capacidade de suportar mais dispositivos vem de vários recursos, incluindo flexibilidade no agendamento, melhor multiplexação por divisão de frequência, modulação de ordem mais alta (64 QAM) e suporte a um esquema de transmissão de dados da versão anterior.

O 5G também oferecerá melhorias no consumo de corrente, portanto, aplicações de baixa potência precisarão de menos energia para rodar. Recursos de economia de energia, como um novo sinal de sincronização, um sinal de despertar e um sinalizador de notificação de alteração do sistema, aliviam a carga de energia e ajudam a prolongar a vida útil da bateria para mais de 15 anos no campo. Um esquema antecipado de transmissão de dados também ajuda a reduzir os requisitos de energia, assim como os requisitos relaxantes para o monitoramento de células.

O artigo *5G for IoT? You're Just in Time*, destaca que todos esses recursos de 5G mMTC estarão disponíveis em futuras versões de *firmware*, portanto, o hardware LTE-M e NB-IoT já implementado da atualidade está preparado para o futuro em 5G.

O tipo de dispositivo de IoT escolhido depende do caso de uso, dos requisitos de taxa de transferência e dos requisitos de energia. Alguns casos específicos de uso da indústria estão detalhados na Figura abaixo.

Figura 40 - Casos de uso de IoT

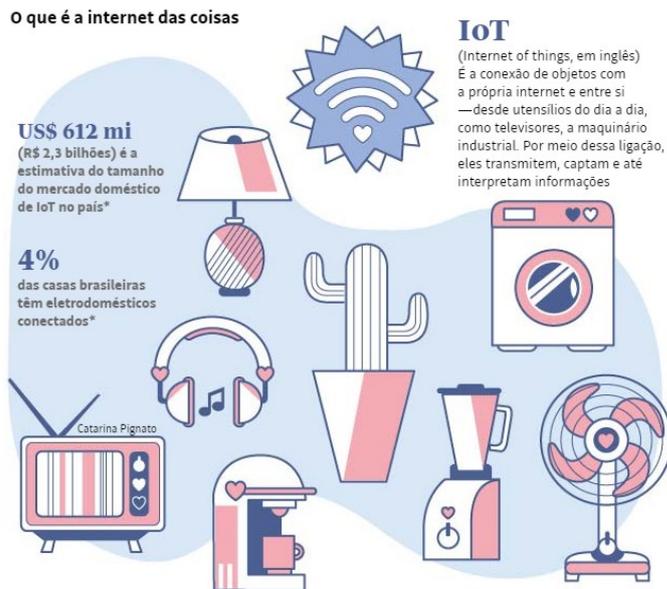
	Use Case	Throughput	Battery Life	Mobility	Other Information
1	Asset tracking	Low throughput of less than 1 Mbps	Typically, between 5 to 10 days	Highly mobile	Used for asset tracking. An effective alternate to GPS
2	Smart metering	About 1 Mbps	Connected to a power supply or batteries	Fixed	Used for metering electricity, water and gas usage
3	Industrial usage	About 10 Mbps	Runs on a battery and may be provided with a power connection	Static devices	Used for monitoring production lines
4	Vehicle communications	About 10 Mbps	Can take power from a vehicle's battery	Highly mobile	Used for vehicle-to-vehicle or other device communication
5	Home appliances	About 10 Mbps	Battery life should be at least 1 day long.	Static devices	Generally requires good indoor coverage
6	Healthcare devices, including wearables	Less than 1 Mbps	Battery life should be at least 1 day long	Low velocity mobile devices	High availability and may require voice communication, used across multiple geographies
7	Safety and security	Less than 1 Mbps	Requires a permanent power source	Mostly static, with limited mobility	High reliability and high availability, ensures continued alerts and should be able to respond to network triggers for status
8	Agriculture	1 Mbps	About 5-10 days	Mostly static, with limited mobility	Mainly used outdoors where the area of coverage by a single cell would be large and the number of devices required per cell would be fewer.

Fonte: Relatório *The Future of Cellular for IoT* (2017)

Um exemplo onde a tecnologia já está presente, é a plataforma oferecida pela australiana National Farmers Federation (NFF), onde milhares de pequenos agricultores tem à disposição informações do que de fato ocorre no campo. É possível acompanhar o crescimento da planta, verificar se o nível de fertilizante determinado para tal plantio condiz com o resultado esperado, informações de preços de insumos são comparadas, probabilidades de chuvas e demais fatores para ajudar na tomada de decisão (ALBERTIN, ALBERTO LUIZ, 2017).

O infográfico apresentado na Figura 41 apresenta o ecossistema do IoT.

Figura 41 - Infográfico sobre IoT



**Plano Nacional de IoT**

**Iniciativa do governo** brasileiro para fomentar o ecossistema de IoT em áreas como **indústria e segurança pública**. A aprovação depende de decreto governamental

**Investimentos**



**Impacto na economia** ■ Estimativa conservadora ■ Estimativa otimista

**IoT pode movimentar de US\$ 50 a US\$ 200 bilhões**



**Previsão para cada área em 2025**



\*Segundo estimativa para 2018 da IDC Brasil (International Data Corporation)  
Fontes: BNDES, McKinsey, Fundação CPQD/ Pereira Neto Macedo

Fonte: Folha de São Paulo (2019)

### 5.2.1 IoT na agricultura

O Brasil é um país com vocação natural para o agronegócio pelas suas características e diversidades, especialmente encontradas no clima favorável, no solo, na água, no relevo e na luminosidade. Muitos empresários do agronegócio, um setor que representa mais de 22% do PIB brasileiro, estão percebendo o potencial que a Internet das Coisas oferece, facilitando a rotina diária, reduzindo as perdas, otimizando a produção e a qualidade dos produtos.

Para o IDC, este ano a tecnologia vai movimentar R\$ 26 bilhões no Brasil. Para o BNDES, o benefício esperado para o país com a plataforma pode chegar em até R\$ 200 bilhões em 2025 em quatro verticais: campo, cidades, indústria e saúde. No ano passado, a Frost & Sullivan previa que seriam alcançadas em 2021 receitas de US\$ 3,39 bilhões.

Segundo Figueiredo (2017), durante o SBIAgro: “É um desafio não só para o Brasil, mas para o mundo toda essa questão de conexão no campo”, “Uma vez vencida a barreira da conectividade, vem à questão da sustentabilidade, algo extremamente crítico porque precisamos alimentar nove bilhões de pessoas até 2020. É preciso conhecer os limites e crescer de forma responsável”, enfatizou. Ele ainda destacou o crescimento significativo nos últimos dois anos das agtechs, startups ligados ao agronegócio, que têm buscado formas mais simples de coletar dados no campo e processá-los.

No ambiente da agricultura de precisão, a IoT permite, por exemplo, que estações de irrigação se comuniquem com sensores meteorológicos, ou acionando e desligando sensores de solo de acordo com a necessidade, e também avaliam a qualidade da terra, fornecendo avisos para que ações sejam realizadas para solucionar a falta de algum nutriente ou a necessidade de proteção para algum cultivo. Segundo aponta Mancini (2017) a IoT pode ser aplicada com sucesso na gestão da agricultura e dos recursos naturais, em diversas áreas, tais como: segurança e rastreabilidade de produtos agrícolas, gerenciamento de qualidade, monitoramento ambiental para produção e cultivo, gerenciamento no processo de produção, gerenciamento inteligente de água em irrigação de precisão, entre outros.

O grupo São Martinho, um dos maiores do setor sucroalcooleiro investiu perto de R\$ 48 milhões e contou com apoio da Finep em um dos primeiros pilotos de uso de IoT no Brasil. O BNDES participou como agente financiador do CPqD, que desenvolveu a solução LTE baseada na faixa de 250 MHz para levar banda larga para a Usina São Martinho, em Pradópolis, no interior de São Paulo, uma das quatro do grupo. Os testes foram encerrados no final do ano de 2018 e a tecnologia funcionou tanto nas torres quanto nas máquinas, onde a banda larga foi capaz de transmitir dados, voz e vídeo do campo para o Centro de Operações Agrícolas.

Os benefícios da implantação da plataforma ficaram bem visíveis para o grupo, que espera ter uma economia de R\$ 60 milhões nos próximos anos como resultado dessa implantação. Maccheroni, assessor de tecnologia do grupo cita como exemplo, o controle sobre os 700 veículos da usina, todos agora com o terminal inteligente veicular. Com o uso de inteligência artificial, o executivo acredita que poderão ser adotadas medidas preditivas no campo. O assessor comenta: “nós percebemos que uma parte do veículo sinaliza 24 horas antes que o motor vai quebrar. Com isso, já podemos enviar essa máquina para a manutenção”, relata. Segundo Maccheroni, o grupo já se prepara para um futuro onde terá de conviver com veículos autônomos no campo, sejam tratores ou colhedoras, e possivelmente já utilizando a tecnologia 5G. O grupo quer avançar em termos de soluções e já prepara o seu próprio hub de inovação.

### 5.2.2 IoT na Indústria

Impulsionada principalmente pelo setor automotivo, a indústria é considerada um dos motores para IoT, que garante a conexão de dispositivos relacionados à cadeia produtiva e hospedados em nuvem. A IoT se tornou um dos pilares da chamada Indústria 4.0, ao lado de outras tecnologias como *cloud*, integração de sistemas, robôs autônomos e segurança de dados.

Como o conceito de Indústria 4.0 foi desenvolvido pelo governo alemão para garantir a competitividade de sua indústria frente aos concorrentes asiáticos, é natural que as subsidiárias de multinacionais alemãs estejam entre as empresas mais adiantadas no Brasil na implantação do novo sistema de produção. Bosch, Bayer e Volkswagen são exemplo, o que não quer dizer que não haja grandes empresas nacionais seguindo essa trajetória, como Gerdau e Grupo Suzano.

No entanto, havia expectativa de que a implantação da Indústria 4.0 no país seguisse um ritmo um pouco mais dinâmico, o que acabou não acontecendo. A crise econômica pode ter uma parcela de responsabilidade, mas há também o choque de realidade. Fábio Fernandes, engenheiro de Aplicações e especialista em Indústria 4.0 do grupo Bosch, destaca que as indústrias se empolgam em avançar, mas quando olham para sua estrutura, o chão de fábrica não está conectado e há baixo nível de automação. Aí percebem que ainda há muito caminho a percorrer e desanimam. A Bosch é um exemplo claro disso. Sua planta industrial no Brasil está conectada às dez outras unidades dessa mesma linha de produção em vários países. Isso permite, por exemplo, que se houver queda de produção em uma dessas unidades, as demais se preparem para compensar o que deixou de ser produzido nesse período.

No entanto, no Brasil a empresa ainda não consegue ter toda a sua cadeia produtiva conectada. “Nós temos de ter um ecossistema ágil, flexível e produtivo. Para isso, estamos puxando os fornecedores para aderirem aos processos automatizados, porque temos um prazo para virarmos nossa planta para a 4.0”, diz Fernandes. Nesse ecossistema, ele inclui fornecedores de equipamentos, transporte, armazenagem, distribuição, até chegar ao cliente final. Na avaliação do executivo, a conectividade é um dos pontos mais importantes nessa trajetória, o que reforça o papel das operadoras de telecomunicações. “Quando falamos de IoT e Indústria 4.0, estamos falando de um grande volume de dados que precisa ser trafegado de um lado para o outro. Essa é a coluna vertebral e as operadoras precisam ser nossas parceiras”, ressalta.

Para isso, são exigidas conexões de fibra óptica e plataformas 4G e 5G de telefonia móvel. Ao mesmo tempo que se trata de uma fabricante migrando para a Indústria 4.0, a Bosch também é fornecedora desse mercado. “Estamos nos transformando em uma grande empresa de IoT”, comenta o executivo. Além de ser a maior fabricante mundial de micro sensores, a multinacional alemã desenvolveu hardware, softwares e sistemas operacionais, todos testados em suas fábricas, que estão sendo oferecidos ao mercado.

### **5.2.3 IoT na logística**

O setor de logística é um dos que têm mais oportunidades de melhorar produtividade e eficiência a partir do uso de IoT. Alguns números já mostram o otimismo em torno desse mercado. Um levantamento feito pela Cisco e pela gigante dessa área, a DHL, aponta que a Internet das Coisas poderá impulsionar esse segmento mundialmente em cerca de US\$ 1,9 trilhão nos próximos dez anos.

Os benefícios para esse mercado têm algumas vertentes, como a capacidade de impor mais eficiência na gestão da cadeia de suprimentos, controlar melhor os centros de distribuição até o acompanhamento de suas frotas. No final, o consenso entre especialistas dessa área é de que poderá não só haver aumento da produtividade como uma considerável redução de custos.

O monitoramento e o rastreamento das cargas têm ganhado muitas soluções que tornam esse caminho mais eficiente, seja pelo controle de rotas, com sugestões de caminhos, seja pelo agendamento para busca de material nas empresas, ou mesmo para verificar o cansaço dos motoristas e alertá-los da necessidade de descanso. Os próprios veículos são monitorados para se saber exatamente quando terão de entrar na manutenção ou obter licenças específicas. A

White Martins é um dos exemplos de empresa que está investindo em todo o processo, a partir de suas fábricas até os clientes.

A Logística 4.0, como também passou a ser chamada, ganhou apoio das etiquetas RFID e outros leitores de códigos de barras para simplificar a gestão do estoque e movimentação de produtos e equipamentos. A Gerdau, por exemplo, tem sistema baseado em RFID que lhe facilita desde a gestão do estoque até o carregamento dos caminhões, cujos motoristas conseguem saber os horários disponíveis para buscar novas mercadorias evitando filas. Mais uma vez, a conectividade está no centro das atenções. E é ainda mais essencial para um setor que precisa acompanhar suas frotas pelas estradas brasileiras. Esse é um dos segmentos com maior número de projetos, pois o monitoramento de frotas é feito há muitos anos quando nem existia o conceito de Internet das Coisas e a conexão era conhecida como M2M.

A solução da Embratel para esse ramo é bem sofisticada. Já envolve o conceito de carro conectado e está presente em mais de 500 mil veículos no país. Ela permite o monitoramento 24 horas do veículo para proteção do motorista, com rastreamento por satélite, travamento e destravamento remoto de portas, além do acesso a informações essenciais para o bom funcionamento do automóvel, como calibragem dos pneus e volume de óleo, entre outras funcionalidades.

#### **5.2.4 IoT em *utilities***

A melhoria do desempenho das redes de energia, gás e distribuição de água, com o controle de roubos de energias e vazamentos, é sempre apontada como um dos principais benefícios da adoção do monitoramento inteligente por meio de sensores e sistemas de controle. Mas apesar dos evidentes ganhos de produtividade trazidos pela adoção das tecnologias relacionadas à IoT, o segmento de *utilities* ainda resiste em investir maciçamente nessa direção.

Existem vários pilotos em diferentes áreas. Um dos projetos mais emblemáticos está sendo desenvolvido, desde 2017, pela Eletropaulo, distribuidora de energia paulista, em Barueri, na região metropolitana de São Paulo. Foram instalados nas casas dos usuários medidores inteligentes em substituição aos relógios de luz convencionais. Estes medidores são capazes de se comunicar internamente com os dispositivos eletrônicos da casa e, externamente, com a rede elétrica. Assim, em caso de falha, o tempo de reação da companhia de eletricidade para resolver o problema é muito mais rápido e não depende do deslocamento de um técnico. A empresa previa ter 60 mil clientes participando do projeto em meados de 2018.

As companhias de energia, água, gás e mesmo iluminação pública são um mercado alvo para a Embratel dentro de sua estratégia de desenvolver aplicações para a rede 4G LTE nos padrões dedicados à troca de dados entre dispositivos inteligentes e data center. De acordo com Eduardo Polidoro, diretor de Negócios da operadora, ela tem desenvolvido conversações com várias empresas desse segmento para a realização de testes e pilotos.

Se o mercado das redes públicas de serviços essenciais ainda não mergulhou no mundo da IoT, seja por falta de recursos para investimento seja por resistência ao novo modelo de controle e monitoramento das informações da rede, as corporações privadas, grandes consumidoras de energia, estão mais abertas ao novo ambiente. Pesquisa realizada em 2017 pela Logicalis, empresa global de soluções e serviços de TIC, revelou que das empresas que planejavam investir em sistemas de IoT, 40% eram do segmento de *utilities*.

Para este mercado, a Telefônica Vivo lançou, em 2017, um produto, o Vivo Eficiência Energética, desenvolvido junto com a Schneider Electric e Viridi Technologies. A solução de IoT automatiza e controla o consumo de energia. Já a Signify, antiga Philips Lighting, anunciou no início do segundo semestre deste ano a comercialização no Brasil da Interact, uma plataforma IoT baseada na nuvem que permite aos seus usuários aproveitar todo o potencial da iluminação conectada. Ela tem uma versão para as cidades, Interact City, e soluções para o mercado corporativo. Nas cidades que estão adotando o monitoramento inteligente, o que mais avança são os sistemas de videomonitoramento associados ao controle do trânsito.

Para fomentar o uso de IoT pelas cidades, o BNDES em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), lançou a Cartilha das Cidades, guia prático para gestores públicos municipais em três capítulos: conceito de IoT e seu potencial para as cidades, casos reais de aplicações e descrição do caminho que um gestor deverá seguir para implementar um projeto de IoT.

### 5.3 APLICAÇÕES CRÍTICAS EM IOT

Apesar do fato de que a IoT tem um enorme potencial para trazer inovações para novos negócios em nosso cotidiano, a IoT está enfrentando uma longa lista de desafios técnicos não resolvidos relacionados a dispositivos heterogêneos, espectro limitado, miniaturização de hardware, coleta de energia, privacidade e segurança, etc.

Segundo Zhang e Fitzek (2016), em seu artigo *Mission Critical IoT Communication in 5G*, um dos desafios mais cruciais é a comunicação para aplicações de missão crítica. O autor cita que o significado de missão crítica não se limita à definição convencional de risco à vida,

mas também abrange os riscos de interromper os serviços públicos, perturbar a ordem pública, prejudicar a operação da empresa e causar perdas significativas nos negócios e ativos. Os típicos casos de uso de IoT de missão crítica, incluem a comunicação entre veículo e infraestrutura de transporte e a cooperação entre veículos em transporte inteligente, cirurgia remota em saúde, cooperação robótica ou manobras remotas em agentes de segurança pública ou automação e controle de processos industriais, e muitos outros.

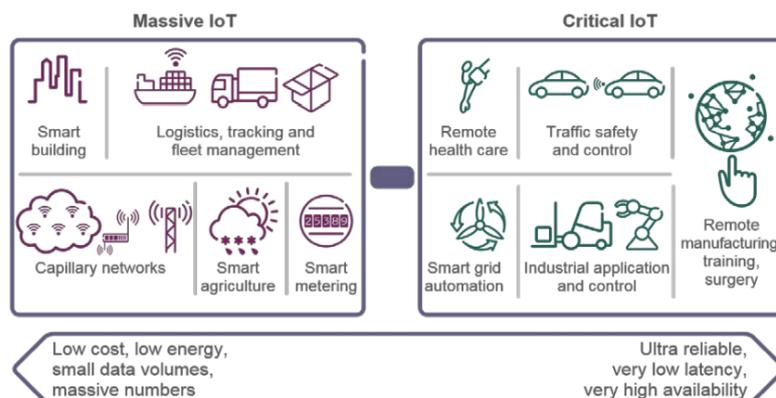
Para habilitar aplicativos de IoT de missão crítica, é necessário um cuidado extra no projeto, desde o hardware, software, até a infraestrutura de comunicação e a arquitetura de rede. No entanto, as soluções de IoT de última geração desenvolvidas a partir das redes tradicionais de sensores e atuadores sem fio incorporados e a comunicação M2M em LTE estão muito aquém dos requisitos rigorosos para aplicativos de missão crítica.

Segundo Teece (2017) em seu relatório *5G Mobile: Impact on the Health Care Sector*, o autor afirma que o 5G tem um papel fundamental a desempenhar nos serviços de missão crítica.

O relatório *LTE Progress Leading to the 5G Massive Internet of Things* revela que a maioria da indústria nesse setor, reconhece que a M2M, e agora a IoT, representa uma das principais oportunidades de crescimento para provedores de serviços de telecomunicações e empresas de vários portes na próxima década.

Enquanto o 4G foi impulsionado pela proliferação de dispositivos, serviços móveis com muita largura de banda e acesso dinâmico a informações, o 5G também será impulsionado por aplicativos IoT. Haverá uma ampla gama de casos de uso de IoT no futuro, e o mercado está agora expandindo para a implementação do Massive IoT, bem como soluções mais avançadas que podem ser categorizadas como aplicações críticas em IoT, como mostrado na Figura 42.

Figura 42 - Requisitos diferentes para aplicativos IoT massivos e críticos.



Fonte: Relatório *LTE Progress Leading to the 5G Massive Internet of Things* (2017)

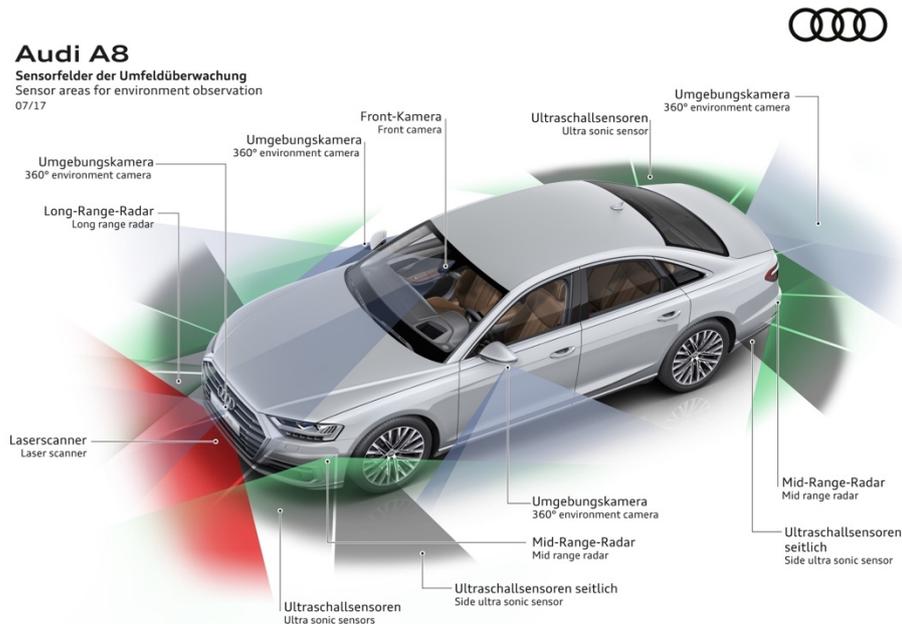
Diferente da aplicação de Massive IoT, as aplicações de *Critical* IoT terão demandas muito altas de confiabilidade, disponibilidade e baixa latência, que podem ser habilitadas pelos recursos LTE, mas principalmente pelo 5G. Há também muitos outros casos de uso entre os dois extremos, que hoje dependem de conectividade 2G, 3G ou 4G.

### 5.3.1 Veículos autônomos

Veículos autônomos é um dos temas preferidos para muitos dos participantes da indústria, desde fabricantes de automóveis, consumidores, companhias de seguros até governos.

O Secretário de Transportes dos EUA disse que os carros sem motoristas serão usados em todo o mundo até 2025. O IEEE prevê que até 75 por cento dos veículos serão autônomos em 2040. Enquanto os veículos autônomos desenvolvidos hoje contam principalmente com sensores e sistemas a bordo, seu desempenho e segurança poderiam ser amplamente melhorados através de comunicações 5G. A Figura 43 apresenta alguns sensores de um veículo autônomo.

Figura 43 - Sensores de um veículo autônomo



Fonte: Relatório *Intel Inside New Audi Autonomous Car System*

Os veículos autônomos podem reduzir acidentes e melhorar a utilização da estrada, pois os veículos podem ser conduzidos mais próximos uns dos outros e com mais segurança do que os motoristas humanos podem alcançar. As empresas de transporte podem aproveitar as frotas autônomas de carros de forma mais eficaz e com isso provocando menos acidentes causados

por erro humano. Além disso, as comunicações ultraconfiáveis em tempo real entre veículos, infraestrutura e smartphones poderiam permitir que o tráfego fluísse de forma mais suave, eliminando os engarrafamentos. O tempo de deslocamento pode ser usado para outras atividades com a ajuda de veículos autônomos. O requisito de latência de ponta a ponta precisa ser tão baixo quanto 5-10 ms1.

No artigo *5G Mobile: Disrupting the Automotive Sector*, Teece (2017) apresenta uma pesquisa que indica que o 5G será crítico para as comunicações e contribuirá para o desenvolvimento de carros autônomo, podendo tornar-se parte integrante de seu funcionamento. Por exemplo, a alta taxa de bits do 5G poderia permitir o upload e o download de grandes volumes de dados de mapeamento 3D ou o upload de dados do sensor para desenvolver autonomia do veículo através de AI (*artificial intelligence*).

Os recursos de baixa latência e alta taxa de bits do 5G podem torná-lo um protocolo superior para as chamadas comunicações V2X, que abrange uma gama de capacidades de comunicação: veículo-para-pedestre, veículo-para-veículo, veículo-para-rede, veículo-para-trânsito em massa e veículo-para-infraestrutura.

Teece (2017) destaca que há uma série de outros benefícios das comunicações 5G e V2V e V2X além do gerenciamento de capacidade e fluxo. Alguns benefícios incluem: colisões reduzidas, porque as comunicações V2V e V2X melhoram a capacidade de detecção de um veículo, detecção de linha de visão, facilitam o compartilhamento de informações de vídeo entre carros; ou compartilhamento de informações de smartphones e carros de pedestres; estacionamento automático - se os carros souberem onde os lugares de estacionamento são ou se puderem identificar alternativas ao estacionamento na rua, isso acelera os fluxos de tráfego e também reduz o congestionamento. Além disso, economiza tempo e frustração dos motoristas:

Por último, o V2X pode ser um facilitador na automação para habilidades sensoriais do veículo na determinação de quando, e se a autonomia total do automóvel for alcançada. Quando a autonomia total é alcançada, um valor adicional pode ser criado através do fornecimento de informações, experiências de entretenimento e ferramentas de produtividade dentro de veículos autônomos.

### **5.3.2 Realidade aumentada e realidade virtual**

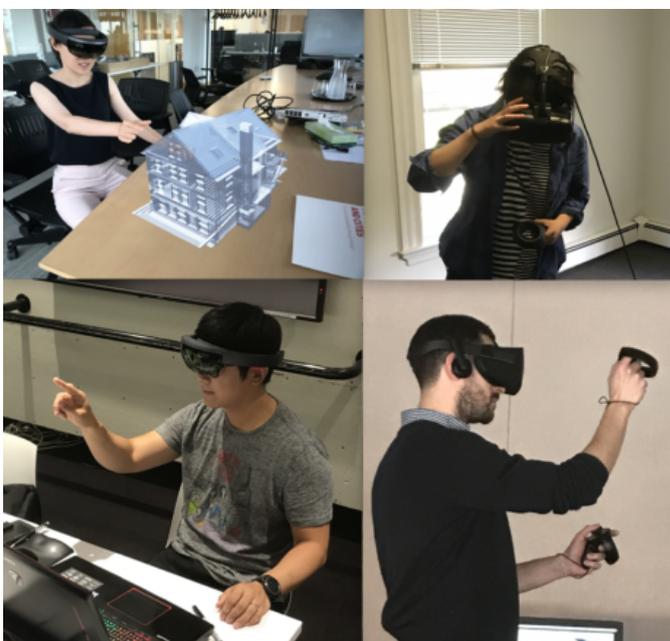
Segundo artigo da Nokia (2016), *5G for Mission Critical Communication*, a realidade aumentada (AR) aprimora uma visão do mundo real com gráficos e traz informações em tempo

real que são exibidas com base na localização e/ou visão do usuário. Já a realidade Virtual (VR) cria uma experiência de usuário totalmente nova com o usuário em um ambiente totalmente imersivo. O dispositivo AR/VR precisa rastrear os movimentos do usuário com precisão, processar o movimento e receber a imagem, e exibir a resposta imediatamente. Uma latência de ponta a ponta de mais de 5 ms levaria uma experiência desconfortável e nauseante para o cliente.

Um exemplo prático e simples, é a experiência que os usuários poderiam vestir uma roupa sem experimentá-la de fato. AR também pode ser usado em situações de emergência, por exemplo, os bombeiros podem usar AR para ver a temperatura ambiente, layout de um edifício, saídas e áreas potencialmente perigosas. Os policiais poderiam usar AR com reconhecimento facial para identificar um suspeito em tempo real do banco de dados da polícia antes de uma prisão ser feita.

O uso do VR pode ser extenso, não apenas no mundo dos jogos e entretenimento, como muito se fala. Os alunos podem aprender dentro de um ambiente de realidade virtual conduzido por um professor remoto. Os estudantes podem ganhar experiências tão grandes quanto o começo do universo ou tão pequenos quanto dividir um átomo. No desenvolvimento de produtos, o VR pode ser usado para projetar e prototipar produtos antes de serem construídos, reduzindo o tempo e o custo de desenvolvimento. Na Figura 44 é apresentada uma experiência de 4 pessoas trabalhando no mesmo projeto de diferentes locais com o uso do VR.

Figura 44 - Exemplo de VR e AR



Fonte: Site *Research Gate* (2018)

Nos últimos anos, tanto o VR como o AR experimentaram um certo ressurgimento graças aos avanços na tecnologia móvel e de computador. O Oculus Rift, da HTC, o HTC Vive e o PlayStation VR da Sony proporcionaram experiências de realidade virtual convincentes e acessíveis, enquanto o iOS da Apple e os sistemas operacionais de smartphone Android do Google geraram uma série de aplicativos de AR e VR.

Um estudo recente da ABI Research (2017), estima que o mercado total de AR chegará a US\$ 114 bilhões até 2021, enquanto o mercado total de VR chegará a US \$ 65 bilhões dentro do mesmo prazo.

Muita atenção é dada à largura de banda de download com o 5G. No entanto, o lado de upload é igualmente interessante e importante, especialmente com o uso simultâneo de aplicações que aconteceriam em um evento lotado como um estádio. Não só os frequentadores do estádio poderão fazer o upload de seus conteúdos de maneira confiável e rápida, mas aqueles que estiverem fora do local terão uma grande seleção de conteúdo para serem visualizados. Serviços de mídia social como o Facebook Live, Periscope, Instagram e o Snapchat serão possíveis com dispositivos de captura altamente conectados e através de óculos AR, smartphones ou outras câmeras de 360°.

O artigo *ABI Research*, comenta o exemplo do *Super Bowl*, ao tentar transmitir ao vivo o *kickoff*, junto com 50.000 outros fãs, usando as múltiplas câmeras em seus óculos AR convenientes e sem as mãos livres. Isso poderia facilmente ser um pico de largura de banda de 1,25 Tbps (4K 360° @ 25 Mbps x 50.000 usuários) dentro da área do estádio (0,1 km<sup>2</sup>), atingindo uma capacidade total de 12,5 Tbps / km<sup>2</sup> (= 12,5 Mbps / m<sup>2</sup>). Os fãs em casa usando a VR poderão aproveitar essas experiências em tempo real e sentir que estão no jogo. Para referência, o IMT-2020 tem como objetivo a capacidade de tráfego de 10 Mbps/m<sup>2</sup>, em que este cenário se aproxima ou poderia inclusive exceder.

### **5.3.3 Robótica e cirurgias remotas**

Controlar remotamente robôs, dispositivos ou avatares em tempo real pode nos ajudar a trabalhar com segurança fora de lugares perigosos. Os hospitais podem organizar cirurgias robóticas remotas por meio de uma rede 5G personalizada, como se o cirurgião estivesse fisicamente presente. Para a segurança pública, os robôs poderiam ser enviados para trabalhar em situações perigosas, como o descarte de bombas ou o combate a incêndios. O sistema precisa

ser extremamente confiável com BLER até  $10^{-9}$  e latência de ponta a ponta de menos de 1 ms para suportar o feedback tátil necessário.

No início deste ano (2019), um médico chinês foi o primeiro a fazer uma operação de forma remota utilizando a rede 5G (ver Figura 45). A cobaia estava num laboratório a cerca de 48 quilômetros de distância do cirurgião e ele removeu um rim do animal. A cirurgia durou aproximadamente 60 minutos, de acordo com o site *The Independent*. Durante o tempo, o médico estava trabalhando a distância, enquanto o braço robótico realizava toda a operação. As feridas do animal cicatrizaram completamente e os sinais vitais permaneceram estáveis.

Seugundo o site *The Independent*, ao realizar o mesmo procedimento usando uma conexão 4G significaria um tempo de latência muito mais lento, aumentando assim o risco de erros.

Figura 45 - Médico chinês realizando primeira cirurgia a distância com 5G



Fonte: Site Engenharia é (2019)

Muitas telas e dispositivos hápticos (tecnologia relativa ao tato) estão sendo desenvolvidos atualmente para responder ao toque e fornecer sensações táteis variando o atrito entre o dedo do usuário e a tela. Isso cria uma experiência de sentir o que toca remotamente. Um dos primeiros exemplos é o novo iPhone, que introduz o toque sensível humano em 3D. A combinação de interação háptica e câmeras de 360° que alimentam vídeo ao vivo em uma rede de 5G para um dispositivo montado na cabeça de VR produzirá uma experiência poderosa como se o usuário estivesse realmente no local remoto e no controle.

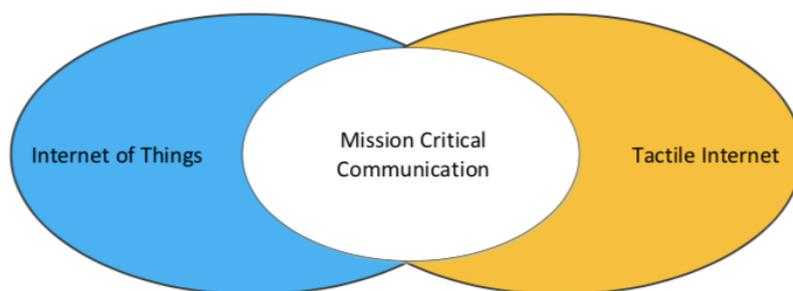
## 5.4 INTERNET TÁTIL

Para Zhang e Fitzek (2016), em seu artigo *Mission Critical IoT Communication in 5G*, a Internet Tátil permite uma interação háptica precisa, não apenas de máquina para máquina, mas também de humano para máquina, com latência de ida e volta de 1ms combinada com alta disponibilidade, confiabilidade e segurança. A Internet Tátil pode abranger os campos de aplicação de cuidados de saúde, tráfego, educação, robótica, manufatura, esportes, jogos, etc.

O escopo da Internet Tátil é parcialmente sobreposto com IoT de missão crítica, em particular, nas áreas de tráfego, robótica, manufatura, saúde e *utilities*. A Internet Tátil e a IoT de missão crítica compartilham requisitos semelhantes em termos de comunicação. No entanto, a Internet Tátil pode ser aplicada adicionalmente em realidade virtual e realidade aumentada para treinar movimentos físicos para máquinas de operação esportiva ou de treinamento para fins educacionais.

Para algumas aplicações de IoT baseadas em monitoramento de missão crítica, a restrição de latência de ponta a ponta não é tão baixa quanto 1ms, mas a confiabilidade e disponibilidade são mais cruciais, por exemplo, os aplicativos de monitoramento de catástrofe de tsunamis e terremotos. A relação entre a comunicação de missão crítica para IoT e a Internet tátil é ilustrada na Figura 46. Fica claro que enfrentar os desafios da comunicação de missão crítica no 5G beneficiará os aplicativos de IoT de missão crítica, bem como os aplicativos de Internet tátil.

Figura 46 - Comunicação de missão crítica para IoT e Internet Tátil.



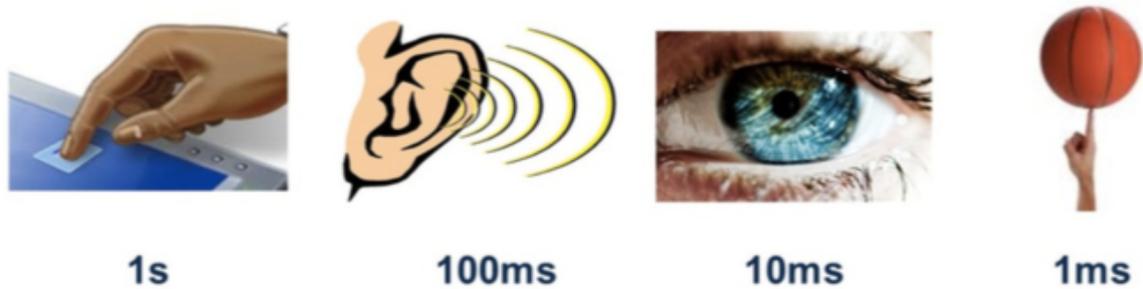
Fonte: Artigo *Mission Critical IoT Communication in 5G* (2016)

De acordo com o artigo do ITU 2014, *The Tactile internet*, a latência extremamente baixa em combinação com alta disponibilidade, confiabilidade e segurança definirá o caráter da Internet Tátil. Ela terá um impacto marcante nos negócios e na sociedade, introduzindo

inúmeras novas oportunidades para os mercados emergentes de tecnologia e a prestação de serviços públicos essenciais.

O tempo de reação humano depende do estímulo sensorial e se o humano está preparado ou despreparado para uma determinada situação, conforme Figura 47.

Figura 47 - Ordem de magnitude do tempo de uma reação humana



Fonte: Artigo *The Tactile internet* (2014)

O artigo do ITU apresentar alguns exemplos. Um exemplo intuitivo é a navegação interativa na web. Para experimentar o imediatismo, o acúmulo de páginas após clicar em um link deve ser uma fração do tempo de reação do despreparo humano. A experiência em tempo real para interação de navegação é alcançada somente se uma nova página da Web puder ser construída dentro de algumas centenas de milésimos de segundo de um usuário que clicar em um hiperlink.

O tempo de reação auditiva humana é de cerca de 100 milissegundos. Para permitir conversas naturais, a telefonia moderna é projetada para garantir que a voz seja transmitida em 100 milissegundos. Latências mais altas nos perturbariam.

Um tempo típico de reação visual humana está na faixa de 10 milissegundos. Para permitir uma experiência de vídeo sem interrupções, os televisores modernos têm uma taxa mínima de atualização de imagem de 100 Hertz, traduzindo-se numa latência máxima entre as imagens de 10 milissegundos.

Mas se um humano está esperando velocidade, como ao controlar manualmente uma cena visual e emitir comandos que antecipam a resposta rápida, é necessário um tempo de reação de 1 milissegundo. Exemplos são mover um ponteiro de mouse sobre uma tela e visualizar um caminho suave do ponteiro sobre a tela, ou mover nossas cabeças usando óculos de realidade virtual (VR) e esperar uma resposta imediata da exibição visual.

Em princípio, todos os nossos sentidos humanos podem interagir com as máquinas, e o potencial da tecnologia nesse aspecto está crescendo.

O requisito de latência mais desafiador para sistemas técnicos surge na interação tátil ou háptica - nosso senso de toque e o movimento de nossos membros interagindo com o feedback visual ou auditivo. Por exemplo ao mover um objeto 3D com um *joystick* ou em um ambiente de realidade virtual. A introdução do corpo humano e o movimento nessa equação resultam em requisitos estritos de latência, na ordem de 1 milissegundo. Se o intervalo de tempo entre a imagem virtual e o movimento humano for superior a 1 milissegundo, a "*cybersickness*" (doença cibernética) pode ocorrer com os usuários ficando desorientados em uma experiência semelhante à doença de movimento às vezes sofrida no mar, no ar ou na estrada.

Além de algoritmos de compactação rápida e tempos de transferência curtos, minimizar a latência de ponta a ponta requer processamento de sinal altamente eficiente na interface do usuário. Especificamente, no caso de interfaces visuais, a Internet Tátil precisa de processamento imediato de imagens, taxas de quadros maiores e taxas de dados de comunicação mais altas. O objetivo final é reduzir a latência dos sistemas de vídeo digital para o das soluções analógicas, para as quais o fator limitante é a taxa de quadros. Este aspecto é de grande importância para aplicações que devem satisfazer padrões rígidos de segurança, como sistemas de assistente ao motorista.

Com interfaces de usuário hápticos, o limite superior para atrasos toleráveis é ainda mais rigoroso. Imediatamente após a obtenção de um valor do sensor, ele deve ser transferido. Somente sob esta condição, superfícies duras podem ser percebidas ao acaso, de maneira realista. Os requisitos de atraso rigorosos exigem novas abordagens para o processamento e compactação de fluxos de dados hápticos. Um tempo de resposta do sistema acima de 10 milissegundos levaria a instabilidades na interação háptica.

## 6 ASPECTOS ECONÔMICOS DAS REDES 5G

A economia 5G introduzirá um novo nível de complexidade na formulação de políticas e regulamentação à medida que surjam novos modelos de negócios e as antigas formas de fornecer bens e serviços sejam dramaticamente alteradas ou completamente abandonadas. As novas áreas que exigirão uma modernização para um mundo 5G incluem segurança pública, segurança cibernética, privacidade, alocação de espectro, infraestrutura pública, saúde, licenciamento e licenciamento de espectro e educação, treinamento e desenvolvimento. O desafio para os formuladores de políticas na economia 5G é que eles devem estar preparados para lidar com a onipresença da 5G na vida cotidiana sem criar regimes que prejudiquem a inovação contínua que será fundamental para o sucesso da economia 5G.

Segundo artigo *The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global Economy*, em 2035 a onipresença do 5G resultará em impactos que avançam além da capacidade das tecnologias, plataformas e indústrias existentes; no entanto, a proliferação da tecnologia móvel 3G e 4G fornece análogos importantes à medida que a economia 5G floresce. O investimento do setor privado 5G deverá ser tão grande quanto o investimento em infraestrutura e os gastos em P&D que foram precedidos por 3G e 4G. Políticas e incentivos os investimentos e a disponibilidade de capital de risco, auxiliados por fortes proteções à propriedade intelectual, manterão o ambiente hospitaleiro que permitirá o florescimento da economia 5G.

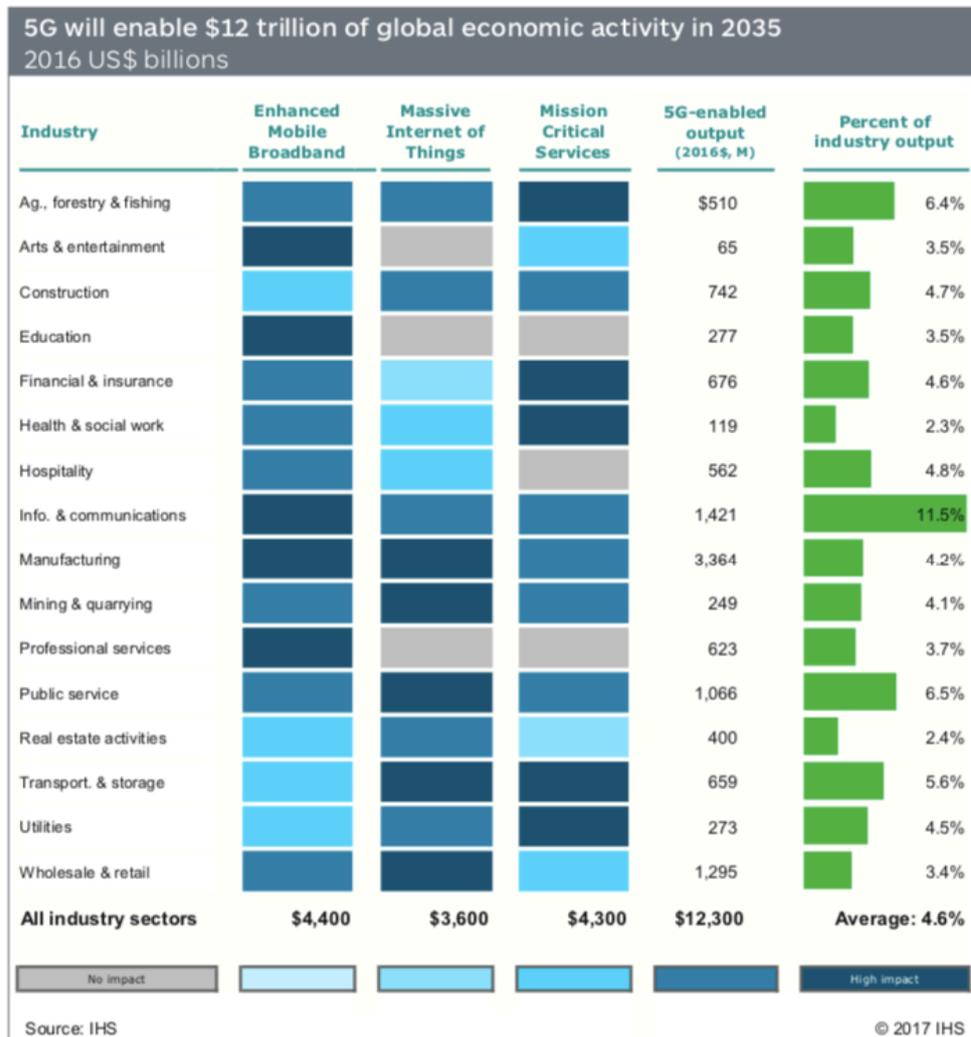
### 6.1 PERSPECTIVAS GLOBAIS

Para entender a extensão e o momento do impacto econômico das implantações 5G, especialistas da IHS Markit analisaram 16 principais setores industriais e desenvolveram um modelo econômico da atividade potencial de vendas globais em vários setores da indústria.

Diferentes indústrias têm suas próprias estruturas econômicas e regulatórias que afetarão o momento e a adoção dos novos modelos de negócios que o 5G permitirá, razão pela qual o IHS Markit se concentrou no horizonte de longo prazo e escolheu 2035 como o ano de análise. Assumindo que o processo de normas, ambiente regulatório e adoção do setor prossiga de forma otimista, o IHS Markit estima que a potencial atividade global de vendas em vários setores da indústria habilitados pelo 5G poderia atingir US\$ 12,3 trilhões em 2035. Isso representa cerca de 4,6% de todo rendimento global em 2035.

O infográfico abaixo representado na Figura 48 apresenta os resultados consolidados. A manufatura terá a maior participação da atividade econômica com 5G em 2035 - quase US \$ 3,4 trilhões ou 28% dos US \$ 12,3 trilhões em capacitação de vendas.

Figura 48 - Previsão de atividade econômica através do 5G em 2035



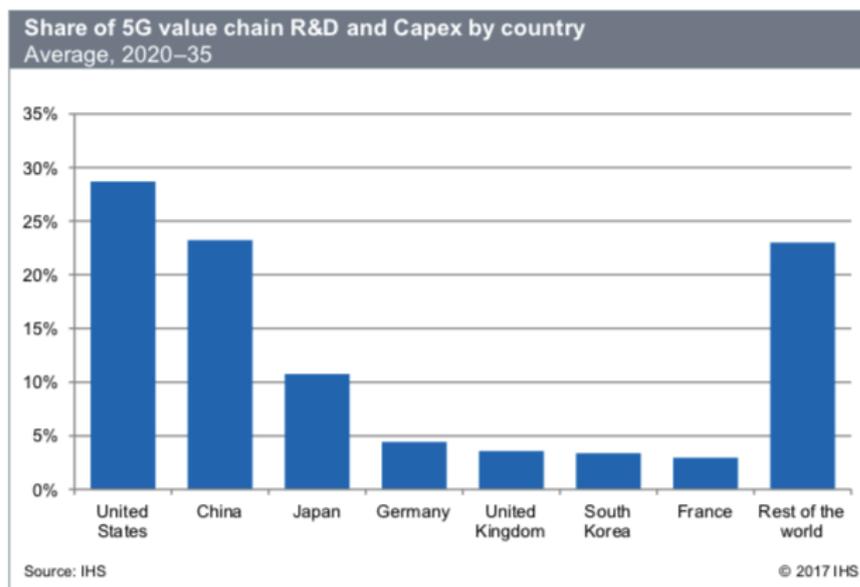
Fonte: Relatório *The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global Economy*

A princípio, isso pode parecer alto, até se considerar que a implementação de qualquer um dos casos de uso 5G estimulará, no mínimo, gastos complementares em equipamentos, todos produzidos pelo setor manufatureiro. Por exemplo, os drones permitirão vendas dentro do setor de transporte. No entanto, isso exigirá que o setor de transporte compre drones adicionais do setor manufatureiro. Os casos de uso médico exigirão gastos complementares em equipamentos prontos para 5G do setor manufatureiro. A mesma linha de raciocínio se aplica ao setor de informação e comunicações, que verá a segunda maior parcela da atividade

econômica ativada pelo 5G, com mais de US\$ 1,4 trilhão. A implementação de qualquer um dos casos de uso 5G exigirá gastos com serviços de comunicação.

Os Estados Unidos e a China devem dominar o 5G, investindo um total de US\$ 1,2 trilhão e US\$ 1,1 trilhão, respectivamente, ao longo do horizonte temporal deste estudo (ver Figura 49). O IHS Markit estima que os Estados Unidos serão responsáveis por cerca de 28% do investimento global em 5G, seguido pela China em 24%. Embora não seja o foco principal deste estudo, os gastos além dos sete países centrais representarão cerca de 23% dos investimentos globais em 5G.

Figura 49 - Share de investimentos em 5G por país



Fonte: Relatório *The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global Economy*

A GSMA apresentou no evento MWC em Barcelona este ano uma projeção do impacto econômico que o 5G terá nos próximos anos. Segundo a entidade, a ativação, o uso e a oferta de serviços dependentes da quinta geração de redes móveis irão movimentar aproximadamente US\$ 2,2 trilhões nos próximos 15 anos.

Além das cifras financeiras, a associação de operadoras afirma que até 2025 haverá 1,4 bilhão de acessos 5G no mundo, equivalente a 15% do total de acessos móveis. Os EUA serão o país com maior penetração – cerca de metade das conexões serão 5G. Europa e China terão aproximadamente 30% dos acessos móveis na tecnologia, enquanto o LTE (4G) continuará representando a maior parte das conexões.

Já as conexões IoT vão se multiplicar. Devem passar das cerca de 8 bilhões para 25 bilhões até 2025, e movimentar até lá US\$ 1,1 trilhão. Abaixo é apresentado um infográfico produzido pela GSMA na Figura 50.

Figura 50 - Infográfico do impacto do 5G



Fonte: Artigo *The Mobile Economy* (2018)

Vale a pena ressaltar que as reações fortes do mercado aos últimos eventos da guerra comercial entre Estados Unidos e China revelam uma perda de perspectiva sobre o que efetivamente representa o conflito, uma disputa geopolítica entre duas potências para ver qual delas será hegemônica na segunda metade do século XXI.

As investidas do presidente americano Donald Trump contra a gigante asiática Huawei, que lidera a tecnologia 5G no mundo, têm sido cada vez mais duras. No lance mais recente, o presidente americano proibiu a companhia chinesa de participar em redes de telecomunicações vitais para a segurança americana e de adquirir componentes de empresas dos EUA — a decisão teve seus efeitos depois postergados por três meses. Como consequência, a gigante Google anunciou que não mais forneceria seu sistema operacional Android para a Huawei. É um duro golpe para a empresa chinesa, que é o segundo maior fabricante de smartphones do mundo.

Mas não deve afetar sua posição de domínio. Ela já possui o maior número de patentes associadas ao 5G e investe em pesquisa mais do que todos os competidores juntos.

O economista Lívio Ribeiro, considera que a dinâmica do conflito mantém-se igual nos últimos meses, porque os Estados Unidos estão pedindo algo que a China não vai entregar, que é a China abrir mão do seu planejamento estratégico “Made in China 2025”, pelo qual o país quer subir na cadeia de valor e se tornar liderança global em setores de ponta de telecomunicações e informática, em tecnologias verdes, nanotecnologia, eletrônicos de alto valor agregado, 5G, painéis solares, entre outros.

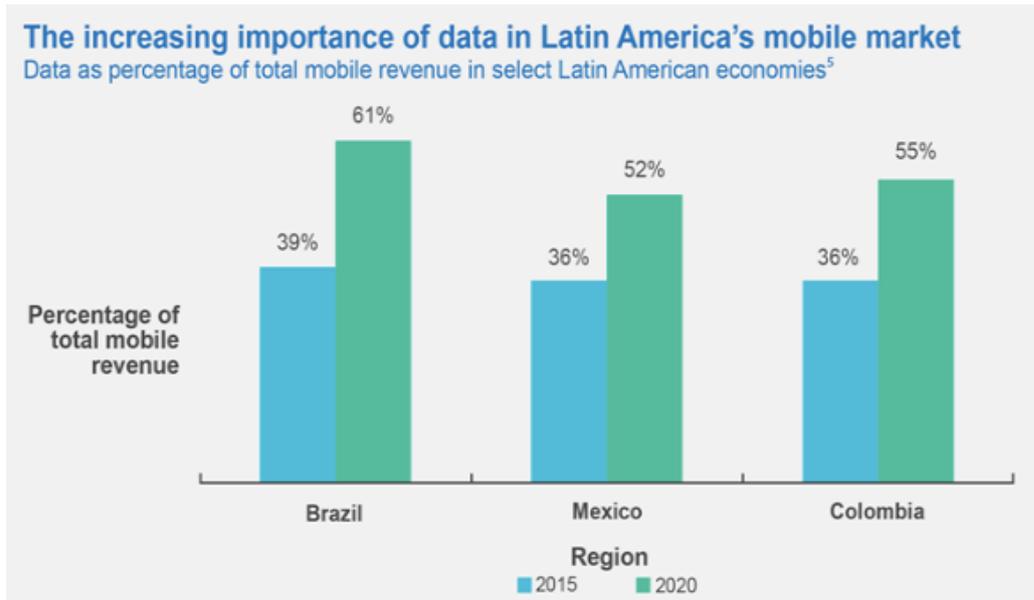
## 6.2 PERSPECTIVAS NA AMÉRICA LATINA E BRASIL

Segundo artigo *5G in Latin America: A region's global competitiveness at stake* de 2018, a economia abastecida por commodities da América Latina demoraram a se recuperar da crise econômica global. Diversos fatores recentes contribuíram ainda mais para a incerteza econômica, incluindo escândalos de corrupção no Brasil, a influência das renegociações do Acordo de Livre Comércio da América do Norte (NAFTA) sobre o México e o colapso econômico da Venezuela. Embora a perspectiva regional tenha melhorado com o aumento da demanda por exportação de matérias-primas, as perspectivas de crescimento permanecem abaixo das de países desenvolvidos e de outras economias em desenvolvimento. Essa lentidão está ampliando as discussões em curso sobre a resiliência econômica na América Latina.

A revolução da Internet mostrou que o desenvolvimento e amplo acesso às tecnologias de telecomunicações são fundamentais para o crescimento econômico. Como muitas regiões em desenvolvimento em todo o mundo, a América Latina está rapidamente se tornando uma região móvel, aumentando a importância da banda larga móvel para o acesso à Internet.

Ainda de acordo com o último estudo citado, a adoção móvel está crescendo em termos de quantidade e sofisticação tecnológica, com maior uso de dispositivos orientados a dados e internet, como smartphones. Assim, esse aumento na atividade de banda larga móvel se reflete na contribuição crescente dos serviços de dados para a receita total de comunicação móvel: em 2020, a receita de dados no Brasil representará 62% da receita total (acima de 39% em 2015), com expectativas para outros países com grandes populações, como o México e a Colômbia. Assim, o cenário de negócios para o suporte a serviços móveis com uso intensivo de dados vem aumentando (ver Figura 51).

Figura 51 - Previsão de aumento da receita móvel na América Latina



Fonte: Artigo *5G in Latin America: A region's global competitiveness at stake*

A América Latina não está imune à propaganda do 5G, apesar de um cronograma prolongado para o lançamento escalonado. O Brasil tem sido proativamente explorador do potencial do 5G na América Latina como parte da agenda digital do país. A Telebrasil assinou um acordo com os países na vanguarda da 5G (China, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e União Europeia) para ajudar a desenvolver a tecnologia e determinar padrões globais. O governo brasileiro também estabeleceu uma parceria com a desenvolvedora de tecnologia de telecomunicações sueca Ericsson para construir um centro de inovação focado na Internet das Coisas (IoT) e 5G no estado de São Paulo. A parceria com a Ericsson amplia um relacionamento existente para o teste 5G com a gigante mexicana de telecomunicações América Móvil, que tem várias subsidiárias brasileiras.

O governo brasileiro classificou a *Industrial IoT (IIoT)* como uma área prioritária de foco para o desenvolvimento de cidades inteligentes e nos setores de saúde e agricultura. No Brasil, a IIoT está atualmente em estágios iniciais de crescimento, mas até 2020, o mercado dobrará os números de 2016 que devem chegar a mais de US\$ 218,2 milhões (ver Figura 52). Espera-se que o 5G seja a arquitetura de conectividade para a IIoT, pois oferecerá níveis ultraltos de confiabilidade com latência mínima para que os atrasos entre o envio e o recebimento de dados de um dispositivo se tornem imperceptível.

Uma área que poderia beneficiar significativamente a vida das pessoas através de um melhor acesso à Internet é a prestação de serviços financeiros, dado que 49% dos adultos na América Latina permanecem sem acesso a serviços bancários. Os provedores de serviços

financeiros estão começando a oferecer soluções digitais que mudarão muito a capacidade dos consumidores de acessar produtos monetários e economizar para a aposentadoria.

Figura 52 - Previsão de crescimento da receita com o IIoT



Fonte: Artigo *5G in Latin America: A region's global competitiveness at stake*

## 7 CONCLUSÃO

Definitivamente o 5G não é apenas mais uma atualização evolucionária da geração anterior, mas sim uma tecnologia revolucionária que eliminará os limites de acesso, largura de banda, desempenho e limitações de latência na conectividade em todo o mundo. A nova rede de quinta geração, tem o potencial de possibilitar novas aplicações e modelos de negócios que podem melhorar drasticamente a qualidade de vida em todo o mundo por meio de novos casos de uso sem precedentes que exigem alta comunicação instantânea de dados, baixa latência e conectividade massiva para aplicações inéditas na área da saúde, indústria, veículos autônomos, cidades inteligentes, casas inteligentes e a IoT.

Este estudo apresenta diversos aspectos para o entendimento do 5G. Conforme definido nos objetivos deste documento, foram apresentadas as principais tecnologias habilitadoras da nova geração, bem como suas aplicações e a disputa comercial-política que envolve as duas maiores potências do mundo, Estados Unidos e China, em busca da hegemonia na segunda metade do século XXI. Outro detalhe importante sobre o desenvolvimento deste estudo é que se trata de um tema bastante novo, podendo ser percebido pelos recentes artigos e relatórios utilizados como fonte.

Existem grandes desafios para que o 5G se torne uma realidade. Dentre os principais, destaco os investimentos significativos necessários pelas operadoras que terão que se reinventar para criar novos modelos de negócios. Além disso, tornar a IoT algo mais tangível para os consumidores pode acelerar os diversos casos de uso, que hoje ainda estão distantes da grande maioria das pessoas, indústrias e demais verticais de negócios.

Por fim, acredito que o 5G abre espaço para uma nova era das comunicações móveis e colocará a tecnologia sem fio como um pilar fundamental para movimentar a economia de empresas, países e, de forma geral, a vida das pessoas.

### 4.1 PROJETOS FUTUROS

Por mais que esse estudo tenha sido concentrado no 5G, existem outras tecnologias de rede sem fio como a nova geração da rede Wi-Fi 802.11ax, que é tão poderosa quanto o 5G e está evoluindo consideravelmente. Em virtude do tema 5G ser bastante recente, sugere-se novos estudos acerca desse tema para acompanhar as novas releases com detalhes técnicos e novidades a respeito da disputa geopolítica que pode dar novos rumos para o futuro das comunicações móveis.

## REFERÊNCIAS

- 5G AMERICAS. **LTE Progress Leading to the 5G Massive Internet of Things**. Bellevue: 5g Americas, 2017.
- 5GPPP. **View on 5G Architecture**. Bruxelas: 5gppp, 2017.
- ABI RESEARCH. **Augmented and Virtual Reality: the First Wave of 5G Killer Apps**. New York: Abi Research, 2017.
- 111
- ALBERTIN, ALBERTO LUIZ e ALBERTIN, ROSA MARIA DE MOURA. **A Internet das coisas irá muito além das coisas**. GVEXECUTIVO Mar/Abr 2017.
- ARICENT. **The Future of Cellular for IoT**. California: Aricent, 2017.
- DAHLMAN, Erik et al. **3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband**. Oxford: Elsevier, 2007.
- DIAS, K. L; Sadok, D. F.H. **Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 19, 2001, Florianópolis. Anais ...Florianópolis: GTA: UFRJ, 2001
- ECC - CEPT, **5G and IMT Identification - Views from CEPT**. 2017.  
<https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/2017-Africa/Forum/CEPT-ECC.pdf>. Acesso em 06/12/2017.
- EJAZ, Waleed et al. **Internet of Things (IoT) in 5G Wireless Communications**. 4. ed. Toronto: IEEE, 2016.
- ERICSSON. **Ericsson Mobility Report**. Stockholm: Ericsson, 2018.
- ERICSSON. **Making fixed wireless access a reality**. Estocolmo: Ericsson, 2018.
- FILGUEIRAS, Hugo Rodrigues Dias. **Arranjos de Antenas Reconfiguráveis e Controlados Mecanicamente para Redes Celulares 5G**. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Telecomunicações, Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2018.
- GONÇALVES NETO, Jahyr. **ALGORITMO CUSTOMIZÁVEL POR HIERARQUIA PARA AGENDAMENTO DE TRÁFEGO DE DADOS EM REDES Long term evolution (LTE)**. 2014. 64 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica e Comutação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- GSMA. **An Introduction to Network Slicing**. Londres: Gsma, 2017.
- GSMA. **The Mobile Economy**. Londres: Gsma, 2018.
- GSMA. **Fixed Wireless Access: Economic Potential and Best Practices**. Disponível em: <<https://www.gsma.com/futurenetworks/5g/fixed-wireless-access-economic-potential-and-best-practices/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

GSMA. **Leading the Way in 5G Fixed Wireless Access**. Disponível em: <<https://www.gsma.com/futurenetworks/digest/leading-the-way-in-5g-fixed-wireless-access/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

GSMA. **The 5G era in the US**. Londres: Gsma, 2018.

IEEE (Org.). **IEEE 5G AND BEYOND TECHNOLOGY ROADMAP WHITE PAPER**. Nova Jersey: Ieee Wireless Communications, 2017.

IERC. **Internet of Things**. Disponível em: <[http://www.internet-of-things-research.eu/about\\_iiot.htm](http://www.internet-of-things-research.eu/about_iiot.htm)>. Acesso em: 16 nov. 2018.

IHS ECONOMICS & IHS TECHNOLOGY. **The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global economy**. Londres: Ihs Markit Technology, 2017.

IJAZ, Ayesha et al. **Enabling Massive IoT in 5G and Beyond Systems: PHY Radio Frame Design Considerations**. 4. ed. Guildford: Ieee, 2016.

ITU-T Study Group. **New ITU standards define the Internet of Things and provide the blueprints for its development**. ITU, 2012.

ITU. **Transport network support of IMT-2020/5G**. Genebra: Stephen Shew, 2018.

ITU. **The Tactile internet**. Geneva: Itu-t, 2014.

KIM, Christian. **5G and Massive IoT: legacy technologies will bridge the gap for now**. Disponível em: <<https://technology.ihs.com/611104/5g-and-massive-iiot>>. Acesso em: 26 maio 2019.

Kurose, James F., Keith W. Ross, **Redes de Computadores e a Internet**, Tradução Arlete Simille Marques; Revisão técnica Wagner Luiz Zucchi- 3º Edição – São Paulo: Pearson Addilson Wesley, 2006

MANCINI, M. **Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios**. (2017). Disponível em: <<https://pmisp.org.br/slideshow/2617-internet-das-coisas>>. Acesso em 26 ago. 2018.

MAXIMIZE MARKET RESEARCH. **Global 5G Fixed Wireless Access Market (FWA): Industry Analysis and Forecast (2018-2026)**. Disponível em: <<https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-5g-fixed-wireless-access-market/26925/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

MEDIATEK. **A New Era for Enhanced Mobile Broadband**. Hsinchu: Mediatek, 2018.

MIQUELIN, Aderlei; FIORI, Genival. **MVNO – Implantação de Operadora Móvel Virtual**. 2012. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmvnoimp1/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmvnoimp1/pagina_2.asp)>. Acesso em: 03 nov. 2018.

NOKIA. **5G for Mission Critical Communication:** Achieve ultra-reliability and virtual zero latency. Descriçãoespoos: Nokia, 2016.

NGMN. **5G White Paper.** Frankfurt: Next Generation Mobile Network, 2015.

NORDRUM, Amy; CLARK, Kristen. **5G Bytes:** Beamforming Explained. 2017. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-beamforming-explained>>. Acesso em: 15 nov. 2018

OBSERVATORY, European 5g. **MAJOR INTERNATIONAL 5G TRIALS AND PILOTS:** USA, Japan, South Korea and China are the leading countries in terms of 5G readiness. A number of Gulf countries claim to have launched 5G mid-2018.. Disponível em: <<https://5gobservatory.eu/5g-trial/major-international-5g-trials-and-pilots/#1535642860842-dda1ce42-9738>>. Acesso em: 04 maio 2019.

OLIVEIRA, Lidiano A. N.; ALENCAR, Marcelo S.; LOPES, Waslon Terllizzie A.. **Evolução da Arquitetura de Redes Móveis Rumo ao 5G.** Paraíba: Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, 2018.

PASSOJA, Matti. **5G NR: Massive MIMO and Beamforming:** What does it mean and how can I measure it in the field?. Disponível em: <<https://www.rcrwireless.com/20180912/5g/5g-nr-massive-mimo-and-beamforming-what-does-it-mean-and-how-can-i-measure-it-in-the-field>>. Acesso em: 04 maio 2019.

POPOVSKI, Petar et al. **5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A Communication-Theoretic View.** 2. ed. Nova York: IEEE, 2018.

PRINCIPAL FINANCIAL SERVICES. **5G in Latin America:** A region's global competitiveness at stake. Disponível em: <<https://www.principalglobal.com/knowledge/insights/5g-latin-america-a-regions-global-competitiveness-stake>>. Acesso em: 26 maio 2019.

QUALCOMM TECHNOLOGIES. **Making 5G NR a reality:** Leading the technology inventions for a unified, more capable 5G air interface. San Diego: Qualcomm, 2016.

RAPPAPORT, Theodore S.; **Comunicação sem fio – Princípios e práticas;** 2ª edição; Pearson do Brasil; 2009.

RAPPAPORT, Theodore S. et al. **Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular:** It Will Work!. Nova York: Ieee Wireless Communications, 2013.

RODOVALHO, Tércio Naves; SODRÉ JUNIOR, Arismar Cerqueira. Evolução da Telefonia Móvel: 1G ao 4G. In: SEMINÁRIO DE REDES E SISTEMAS DE TELECO. **5G: Tecnologias de Celular.** Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/5g\\_tecnologia.asp](http://www.teleco.com.br/5g_tecnologia.asp)>. Acesso em: 16 nov. 2018.

SIERRA WIRELESS. **5G for IoT?:** You're Just in Time. Richmond: Sierra Wireless, 2019.

TECHSPACE. **Evolution from 1G to 4G LTE:** Understanding the Mobile Technologies. 2016. Disponível em: <<https://techspaceofatul.wordpress.com/2016/09/14/understanding-the-evolution-from-1g-to-4g-lte/>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

TEECE, David J. **5G Mobile: Impact on the Health Care Sector**. Berkeley: Haas School Of Business, 2017.

TEECE, David J. **5G Mobile: Disrupting the Automotive Sector**. Berkeley: Haas School Of Business, 2017.

TELEBRASIL. **Harmonização do espectro é vital para a banda larga móvel**. Disponível em: <[http://www.telebrasil.org.br/newsletter/004\\_blm.html](http://www.telebrasil.org.br/newsletter/004_blm.html)>. Acesso em: 05 maio 2019.  
TELECOMUNICAÇÕES, 1., 2014, Santa Rita do Sapucaí. **Artigo**. Santa Rita do Sapucaí: Srst, 2014. p. 1 - 10.

TELESINTESE. **BRASIL DEMONSTRA NA UIT QUE 5G NÃO INTERFERE NA FAIXA DE 27 GHZ DO SATÉLITE**. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/brasil-demonstra-na-uit-que-5g-nao-interfere-na-faixa-de-27-ghz-do-satelite/>>. Acesso em: 05 maio 2019.

TELESINTESE. **ANATEL MARCA LEILÃO DE 5G PARA MARÇO DE 2020**. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/anatel-marca-leilao-de-5g-para-marco-de-2020/>>. Acesso em: 05 maio 2019.

TERAL, Stephane. **5G best choice architecture**. Londres: Ihs Markit Technology, 2019.

UNDQVIST, Claes et al. **Key technology choices for optimal massive IoT devices**. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2019/key-technology-choices-for-optimal-massive-iot-devices>>. Acesso em: 26 maio 2019.

VIRTUEYES. **IoT deixou de ser só uma promessa**. Disponível em: <<https://www.virtueyes.com.br/post/17-iot-deixou-de-ser-so-uma-promessa>>. Acesso em: 26 maio 2019.

Waher, Peter. **Learning Internet of Things Paperback**. Packt Publishing Ltd. Birmingham Mumbai, 2015.

WANG, Cheng-xiang et al. **Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks**. Tabuk: Ieee Communications Magazine, 2014.

WEI, Lili et al. **KEY ELEMENTS TO ENABLE MILLIMETER WAVE COMMUNICATIONS FOR 5G WIRELESS SYSTEMS**. Logan: Ieee Wireless Communications, 2014.

ZAKI, Yasir. **Future Mobile Communications: LTE Optimization and Mobile Network Virtualization**. Bremen: Springer, 2013.

ZHANG, Qi; FITZEK, Frank H.p.. **Mission Critical IoT Communication in 5G**. Dresda: 5g Lab Germany, 2016.