

MARIA VICTÓRIA GONÇALVES SANTOS

Tecnologia 5G NR e suas aplicações no ramo do Agronegócio

Maria Victória Gonçalves Santos

Tecnologia 5G NR e suas aplicações no ramo do Agronegócio

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mesquita

Guaratinguetá
2022

S237t Santos, Maria Victória Gonçalves
Tecnologia 5G NR e suas aplicações no ramo do agronegócio / Maria Victória
Gonçalves Santos – Guaratinguetá, 2022.
71 f : il.
Bibliografia: f. 69-71

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mesquita

1. Telefonia celular. 2. Internet das coisas. 3. Telecomunicações. I. Título.

CDU 621.395

Luciana Máximo
Bibliotecária CRB-8/3595


MARIA VICTÓRIA GONÇALVES SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO(A) EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

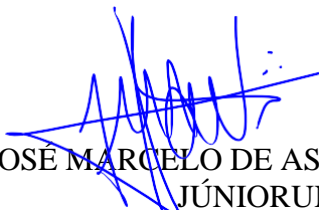
Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio
Coordenador(a)

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Orientador(a)/UNESP-FEG



Prof.^(a) Dr.^(a) PALOMA MARIA SILVA ROCHA
RIZOLUNESP-FEG


Prof. Me. JOSÉ MARCELO DE ASSIS WENDLING
JÚNIORUNESP-FEG

Março de 2022

DADOS CURRICULARES

MARIA VICTÓRIA GONÇALVES SANTOS

NASCIMENTO 22.03.1998 – São Paulo / SP

FILIAÇÃO Edson Antonio dos Santos
Liliane Gonçalves Santos

2016/2021 Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Estadual Paulista – “Julio de Mesquita Filho”, Campus
de Guaratinguetá

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha
irmã, que tanto me incentivam nesta vida.
Com muita gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por sempre me abençoar e permitir que meus objetivos sejam alcançados. A Ele sou grata por ter chegado até aqui e nunca ter desistido dos meus sonhos.

Agradeço também à minha família, por estar sempre ao meu lado e me apoiar nas minhas decisões. Cada incentivo foi demasiado importante para mim.

Não poderia deixar de mencionar também minha segunda família, a república Super Rep, que me acolheu nos quatro anos em que estive morando em Guaratinguetá, e as minhas amigas da elétrica, por toda força e companheirismo.

Por fim, agradeço aos meus professores, por todos os ensinamentos nestes anos de graduação. Em especial, agradeço ao meu orientador Leonardo Mesquita, por todo o suporte na realização deste trabalho.

“Acesso à comunicação é uma necessidade humana básica”;

Lars Magnus Ericsson

RESUMO

Diariamente, a demanda por celular e internet móvel vem aumentando em todo o mundo e, ao passo que esta demanda aumenta, aumenta-se também a necessidade de uma nova tecnologia, a fim de superar os requisitos das redes precedentes. A quinta geração de redes móveis (5G) surge, então, com o objetivo de revolucionar as comunicações móveis e proporcionar melhorias no segmento de banda larga móvel, além de oferecer novas aplicabilidades que beneficiarão outros segmentos, como as aplicações em comunicação ultra confiável de baixa latência e as aplicações de comunicação de IoT massivo. Este trabalho tem como objetivo apresentar a tecnologia 5G NR, abordando seus aspectos teóricos, a fim de se compreender o funcionamento desta tecnologia por meio de suas tecnologias habilitadoras (*Small Cells*, *Beamforming*, *Massive MIMO* e outras), e que tornam possíveis os requisitos de baixíssima latência e alta confiabilidade, alta capacidade e muito mais. Além disso, o trabalho a seguir também pretende expor a situação atual do Brasil e do mundo no cenário de implantação do 5G, bem como as principais dificuldades encontradas no Brasil para a implantação e consolidação da tecnologia. Por fim, o trabalho visa apresentar algumas aplicações de IoT que serão possíveis com o 5G. No campo do Agronegócio, que representa 26,1% do PIB brasileiro, a tecnologia 5G tem grande potencial de impactar nesta indústria, que ainda sofre com a falta de conectividade. Portanto, este segmento foi escolhido para ser foco do presente estudo. Ao final, será possível concluir que a tecnologia 5G já é uma realidade e vem caminhando para sua plena operação no Brasil. Ademais, esta tecnologia corrobora o advento da transformação digital, que futuramente fará parte de tudo o que rodeia a humanidade.

PALAVRAS-CHAVE: 5G. Internet Móvel. Tecnologia. Telecomunicações. Internet das Coisas. Agronegócio.

ABSTRACT

Daily, the demand for cell phones and mobile internet is increasing all over the world and, as this demand increases, so does the need for a new technology to overcome the requirements of previous networks. The fifth generation of mobile networks (5G) emerges with the objective of revolutionizing mobile communications and providing improvements in the mobile broadband segment, in addition to offering new applications that will benefit other segments, such as applications in ultra-reliable low-latency communication and in massive IoT communication. This project work aims to present the 5G NR technology, addressing its theoretical aspects, in order to understand the operation of this technology through its enabling technologies (Small Cells, Beamforming, Massive MIMO and others), which make possible the requirements of ultra-low latency and high reliability, high capacity and more. In addition, the following project also intends to expose the current situation in Brazil and in the world in the scenario of 5G deployment, as well as the main difficulties encountered in Brazil for the deployment and consolidation of the technology. Finally, the project work aims to present some IoT applications that will be possible with 5G. In Agribusiness, which represents 26,1% of Brazilian GDP (Gross Domestic Product), 5G technology has great potential to impact this industry, which still suffers from a lack of connectivity. Therefore, this segment was chosen to be the focus of the present study. At the end of this project work, it will be possible to conclude that 5G technology is already a reality and is moving towards its full operation in Brazil. Furthermore, this technology corroborates the advent of digital transformation, which in the future will be part of everything that surrounds humanity.

KEYWORDS: 5G. Mobile Internet. Technology. Telecommunications. Internet of Things. Agribusiness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais requisitos das redes de comunicações móveis 5G.....	16
Figura 2 – Conexões de IoT celular por segmento e tecnologia (em bilhão).....	17
Figura 3 – Evolução das gerações móveis do 1G ao 5G.....	20
Figura 4 – Casos de Uso do 5G e suas possíveis aplicações.....	26
Figura 5 – Novas bandas identificadas para o IMT.....	29
Figura 6 – Rede de <i>Small Cell</i> para Comunicações 5G.....	33
Figura 7 – Sistema MIMO 2X2.....	34
Figura 8 – Princípio de operação do <i>Massive MIMO</i>	35
Figura 9 – Antena Convencional (4G) X Massive MIMO e Beamforming (5G).....	36
Figura 10 – Network Slicing.....	37
Figura 11 – Arquitetura de Rede 5G Non-Standalone.....	38
Figura 12 – Arquitetura de Rede 5G Standalone.....	40
Figura 13 – Arquitetura <i>Core 5G</i>	41
Figura 14 – Os 10 países com mais cidades com cobertura 5G disponível.....	43
Figura 15 – Assinaturas móveis na América Latina por tecnologia (em milhão).....	44
Figura 16 – Ciclo da Agricultura Inteligente.....	52
Figura 17 – Principais aplicações de IoT na Agricultura Inteligente.....	53
Figura 18 – Aplicações do 5G no Agronegócio.....	56
Figura 19 – Evento demonstrativo do 5G na Embrapa Soja.....	57
Figura 20 – Demonstração do Gado Digital na Embrapa Soja.....	57
Figura 21 – Demonstração de equipamento para controle de percevejo na Embrapa Soja.....	58
Figura 22 – Evento demonstrativo do 5G na fazenda do IMAmt.....	59
Figura 23 – Demonstração do uso de drone e antena 5G na fazenda do IMAmt.....	60
Figura 24 – Drone NAURU 500C.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre as tecnologias 5G e 4G LTE-Advanced.....	23
Tabela 2 – Bandas de operação definidas pelo 3GPP para o NR no <i>Range</i> 1 (FR1).....	30
Tabela 3 – Bandas de operação definidas pelo 3GPP para o NR no <i>Range</i> 2 (FR2).....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1G	Primeira Geração dos Sistemas de Comunicações Móveis
2G	Segunda Geração dos Sistemas de Comunicações Móveis
2.5G	Segunda Geração e Meia dos Sistemas de Comunicações Móveis
3G	Terceira Geração dos Sistemas de Comunicações Móveis
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
3.5G	Terceira Geração e Meia dos Sistemas de Comunicações Móveis
4G	Quarta Geração dos Sistemas de Comunicações Móveis
4.5G	Quarta Geração e Meia dos Sistemas de Comunicações Móveis
5G	Quinta Geração dos Sistemas de Comunicações Móveis
5GC	5G Core
AMPA	Associação Matogrossense dos Produtores de Algodão
AMPS	Advanced Mobile Phone System
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
AR	Augmented Reality
CDMA	Code Division Multiple Access
CT	Core Network & Terminals
D2D	Device-to-Device
DDoS	Distributed Denial-of-Service
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
E2E	End-to-End
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
EMEA	Europe, Middle East & Africa
EPC	Evolved Packet Core
ERB	Estação Radio Base
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FR	Frequency Range
GDP	Gross Domestic Product
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access

IA	Inteligência Artificial
IMAmt	Instituto Mato-grossense do Algodão
IMT	International Mobile Telecommunications
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector
LTE	Long Term Evolution
LTE-M	Long Term Evolution Machine Type Communication
Mapa	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCom	Ministério das Comunicações
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
mMTC	Massive Machine Type Communications
mmWave	Millimeter Wave
MU-MIMO	Multi-User MIMO
NB-IoT	Narrowband IoT
NR	New Radio
NSA	Non-Standalone
NSIaaS	Network Slice as a Service
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SA	Services & Systems Aspects
SA	Standalone
SDL	Supplementary Downlink
SUL	Supplementary Uplink
SU-MIMO	Single User MIMO
TD-CDMA	Time Division Code Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access

TI	Tecnologia da Informação
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
VR	Virtual Reality
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	MOTIVAÇÃO	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivos específicos	18
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	EVOLUÇÃO DAS REDES MÓVEIS: DO 1G AO 4G	20
2.1.1	Primeira Geração – 1G	20
2.1.2	Segunda Geração – 2G	21
2.1.3	Segunda Geração e Meia – 2.5G	21
2.1.4	Terceira Geração – 3G	21
2.1.5	Terceira Geração e Meia – 3.5G	22
2.1.6	Quarta Geração – 4G	22
2.1.7	LTE Advanced e LTE Advanced Pro – 4G+ e 4.5G	22
2.2	ASPECTOS TEÓRICOS DA QUINTA GERAÇÃO DOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS (5G)	23
2.2.1	Características das Redes 5G	23
2.2.2	Casos de Uso do 5G	25
2.2.3	O 5G e suas aplicações em IoT	26
2.2.4	Principais Tecnologias das Redes 5G	28
2.2.4.1	Espectro Definido	28
2.2.4.1.1	Ondas Milimétricas	32
2.2.4.2	<i>Small Cells</i>	33
2.2.4.3	<i>Massive MIMO</i>	33
2.2.4.4	<i>Beamforming</i>	35
2.2.4.5	<i>Network Slicing</i>	36
2.2.5	Arquitetura das Redes 5G	37
2.2.5.1	Arquitetura <i>Non-Standalone</i>	38
2.2.5.2	Arquitetura <i>Standalone</i>	39
2.2.5.3	<i>Core 5G</i>	40
3	PANORAMA DO USO DO 5G NO BRASIL E NO MUNDO	43
4	DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DO 5G NO BRASIL	46

4.1	PANDEMIA DA COVID-19	46
4.2	BAIXO ESTÍMULO À INOVAÇÃO	46
4.3	NECESSIDADE DE MELHOR INFRAESTRUTURA	47
4.4	ASPECTOS POLÍTICOS	48
5	O 5G APLICADO AO AGRONEGÓCIO	51
5.1	O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO	51
5.2	AGRICULTURA INTELIGENTE	51
5.3	5G NA AGRICULTURA INTELIGENTE	54
5.3.1	Projetos-piloto na aplicação do 5G para o Agronegócio no Brasil	56
5.3.1.1	Embrapa Soja, Londrina (PR)	56
5.3.1.2	Fazenda do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), Rondonópolis (MT)	58
5.3.1.3	Usina São Martinho, Pradópolis (SP)	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	64
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	69

1 INTRODUÇÃO

É notável que, nas últimas décadas, as comunicações móveis celulares têm evoluído constantemente e, assim, modificado a maneira como a sociedade se comunica. O que começou com simples chamadas de voz e mensagens por meio do sistema analógico, se transformou em acesso à internet, aplicativos, vídeos, Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*) e muitas outras aplicações, tudo através da tecnologia digital baseada em IP (KIM et al, 2019).

O 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) é a associação responsável por desenvolver os padrões das tecnologias de telecomunicações móveis e, desde 1998, estabelece as especificações para as redes de acesso de rádio (RAN), a rede principal e terminais (CT) e os aspectos de sistema e serviços (SA) (3GPP, c2021).

Mais recentemente, com a desenvolvimento do padrão 5G NR no 3GPP *Release 15*, foi possível atingir um nível nunca visto nos quesitos desempenho e funcionalidade das redes de comunicações móveis. A Figura 1 apresenta os 8 principais requisitos que especificam a tecnologia 5G.

Figura 1 – Principais requisitos das redes de comunicações móveis 5G



Fonte: Thales Group (c2021).

Mesmo que o *Release 15* do padrão 5G NR tenha focado no aperfeiçoamento da banda larga móvel (*eMBB – enhanced Mobile Broadband*), a fim de oferecer taxas de transferências mais rápidas, menor latência e maior capacidade, esta versão também definiu

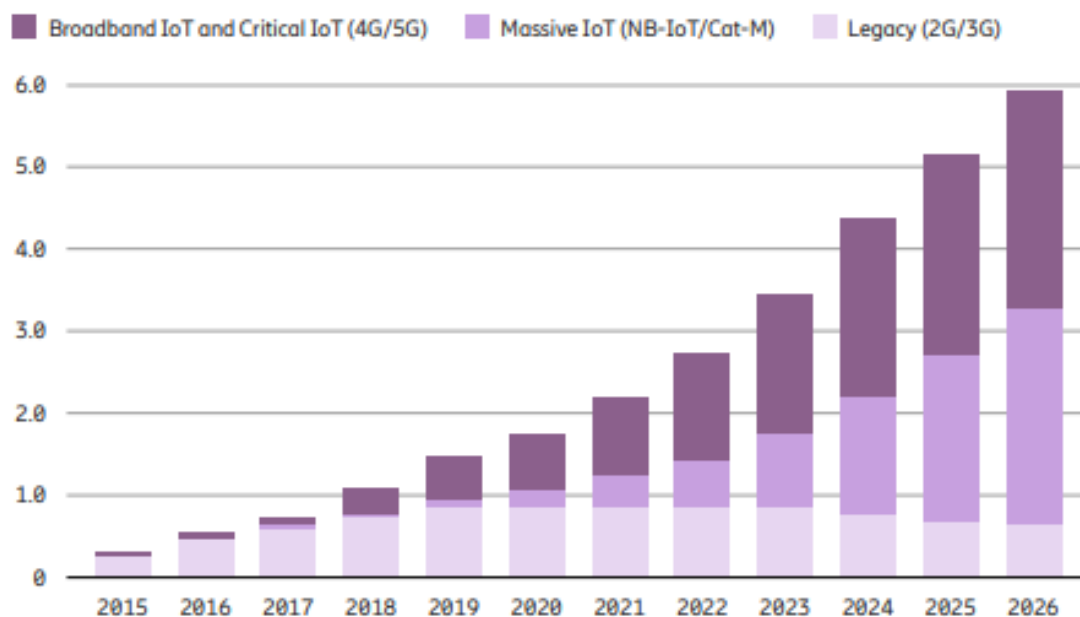
os fundamentos do 5G como base para inovações futuras. Assim, a chegada do 5G NR *Release 16* veio para introduzir novos recursos à esta tecnologia e ampliar sua funcionalidade para outros setores, como as diversas aplicações para *IoT* (QUALCOMM, 2020).

A seguir, serão apresentados a motivação e os objetivos deste estudo, bem como a estrutura de apresentação do presente trabalho.

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo a edição publicada em novembro de 2020 do *Ericsson Mobility Report*, espera-se um total de 5,9 bilhões de conexões de IoT celular até 2026, como mostra a Figura 2. A chegada da tecnologia 5G New Radio (NR) vem para agregar nos segmentos de IoT em Banda Larga (*Broadband IoT*) e IoT para Operações Críticas (*Critical IoT*).

Figura 2 – Conexões de IoT celular por segmento e tecnologia (em bilhão)



Fonte: Ericsson Mobility Report (2020).

Dentre as diversas áreas que se beneficiarão do uso desta tecnologia, o Agronegócio é um dos mercados que mais vinha sofrendo com a falta de conectividade frente à rápida evolução tecnológica e, agora, poderá utilizar do 5G para diversas aplicações (SOCIEDADE 5G, c2021).

Pensando nisso, o presente trabalho apresentará um estudo detalhado a respeito da tecnologia 5G NR, com foco nas aplicações em *IoT*, contemplando tanto o estudo teórico a respeito desta tecnologia, quanto o seu panorama atual no Brasil e no mundo, seus principais desafios de implantação e suas aplicações, principalmente no ramo do Agronegócio.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo a respeito da tecnologia 5G NR, apresentando tanto os seus aspectos teóricos, quanto suas possíveis aplicações, com foco na área de Agronegócio.

1.2.1 Objetivos específicos

- Introduzir conceitos importantes referentes às redes de comunicações móveis.
- Apresentar a arquitetura das redes 5G.
- Apresentar o panorama do uso da tecnologia 5G no mundo e no Brasil.
- Identificar e analisar os principais desafios para a implantação do 5G no Brasil.
- Apresentar detalhes sobre o uso de tecnologias, incluindo o 5G, nas aplicações para o Agronegócio.
- Exibir casos reais da aplicação da tecnologia 5G no Brasil, no ramo do Agronegócio.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em 6 capítulos, sendo estes:

- Capítulo 1 – Introdução: já apresentada. Trata-se do presente capítulo.
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: apresentará um breve histórico sobre as tecnologias que antecedem o 5G, além dos aspectos teóricos da tecnologia de 5ª geração.
- Capítulo 3 – Panorama do uso do 5G no Brasil e no mundo: mostrará o andamento da implantação da tecnologia 5G a nível nacional e global, exibindo os países mais avançados no tema.
- Capítulo 4 – Desafios na implantação do 5G no Brasil: apresentará os principais obstáculos para a implantação e consolidação da quinta geração dos sistemas de comunicações móveis no Brasil.
- Capítulo 5 – O 5G Aplicado ao Agronegócio: exibirá uma breve introdução a respeito do cenário do agronegócio brasileiro, seguido da contextualização de Agricultura Inteligente e da apresentação de aplicações de IoT utilizando a tecnologia 5G para alavancar este setor.

- Capítulo 6 – Considerações Finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

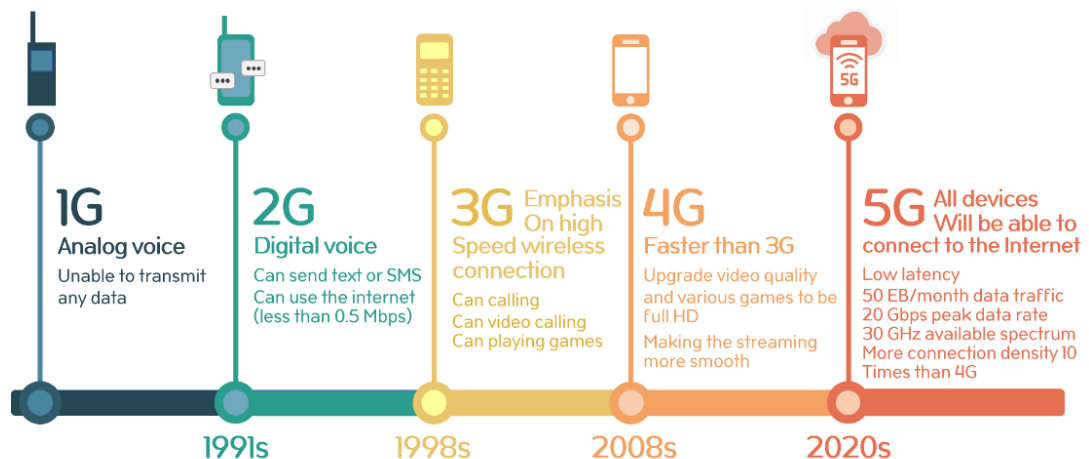
2.1 EVOLUÇÃO DAS REDES MÓVEIS: DO 1G AO 4G

A primeira chamada de um telefone móvel para um telefone fixo ocorreu em 1973 e marcou o início da história da telefonia móvel. No começo, a principal finalidade dos sistemas de comunicações móveis era, por meio de um só transmissor de alta potência, atingir uma grande área de cobertura. Para isso, utilizavam a técnica de acesso múltiplo por divisão de frequência – FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) (TELECO, c2021).

Nesta técnica, cada usuário era destinado a uma frequência específica e, por mais que a mesma promovesse boa cobertura, limitava a quantidade de usuários. Com isso, viu-se a necessidade de reformular o sistema de forma a expandir o número de usuários e manter uma boa cobertura.

As tecnologias móveis celulares são divididas por gerações, conforme mostra a Figura 3. A seguir, será apresentado um resumo da evolução das tecnologias que antecedem a tecnologia 5G.

Figura 3 – Evolução das gerações móveis do 1G ao 5G



Fonte: 5G Learning (2021).

2.1.1 Primeira Geração – 1G

A primeira geração dos sistemas de comunicações móveis surgiu nos anos 1980 e era baseada no sinal de telefonia analógico. Por utilizar a tecnologia de comutação de circuitos, o 1G era limitado aos serviços de voz, sendo que o principal sistema utilizado foi o sistema

AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), através da técnica de acesso múltiplo por divisão de frequência – FDMA (AGRAWAL et al, 2015).

Com a tecnologia 1G, era possível atingir uma velocidade de dados de até 2,4 Kbps. No entanto, sua baixa qualidade de sinal, baixa segurança e capacidade limitada tornaram necessário o desenvolvimento de uma nova tecnologia, mais aprimorada.

2.1.2 Segunda Geração – 2G

No final da década de 80, a tecnologia 2G surge como uma evolução da primeira geração. No entanto, diferente do 1G, a segunda geração de sistemas móveis passou a ser fundamentada na sinalização digital, através das técnicas de acesso múltiplo TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*) (AGRAWAL et al, 2015).

O principal sistema 2G da época foi o GSM (*Global System for Mobile Communications*). Atualmente, ele permanece sendo o sistema 2G mais utilizado, tendo como uma de suas aplicações o fornecimento de sinal para as “maquininhas” de cartão de crédito (SOCIEDADE 5G, c2021).

Dentre algumas características do 2G, tem-se uma melhor eficiência do espectro, além de melhores capacidade do sistema e cobertura da rede. Além disso, com a tecnologia de segunda geração, a velocidade de dados passou a ser de até 64 Kbps.

2.1.3 Segunda Geração e Meia – 2.5G

A fim de melhorar a tecnologia GSM, surge a segunda geração e meia de sistemas de comunicação móveis. O 2.5G possibilita o acesso à internet, sendo sua principal função o envio e recebimento de e-mails. Além disso, a tecnologia oferece uma velocidade de dados de até 144 Kbps. Os principais padrões do 2.5G foram, inicialmente, o GPRS e, em seguida, o EDGE (VORA, 2015).

2.1.4 Terceira Geração – 3G

A terceira geração de tecnologia móvel representou um importante avanço para as comunicações móveis. Surgido no início dos anos 2000, o 3G possibilitou novos serviços que ainda não eram possíveis com as tecnologias anteriores, como fazer videochamadas e

videoconferências pelo celular, jogar jogos online e acessar outros aplicativos (AGRAWAL et al, 2015).

O principal padrão da tecnologia 3G é o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Este utiliza as interfaces aéreas W-CDMA, TD-CDMA ou TD-SCDMA, sendo a interface WCDMA a mais conhecida.

Com o 3G, foi possível atingir taxa de dados de até 384 Kbps para usuários móveis e de até 2 Mbps para usuários indoor/estacionários.

2.1.5 Terceira Geração e Meia – 3.5G

O 3.5G, também conhecido como HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), surge a fim de proporcionar algumas melhorias à rede 3G. A principal melhoria desta tecnologia está na velocidade de dados, visto que a mesma consegue atingir até 14 Mbps, superando a taxa de dados de pico no downlink alcançada no 3G (RODRIGUES, 2005).

2.1.6 Quarta Geração – 4G

A quarta geração dos sistemas de tecnologia móvel surgiu em 2008, quando o 3GPP desenvolveu o padrão LTE (*Long Term Evolution*), que foi introduzido no *Release 8*. O principal objetivo desta tecnologia era suprir a demanda por dados, que aumentava cada vez mais e, com isso, oferecer uma maior qualidade de serviço (3GPP, c2021).

O LTE é um sistema totalmente baseado em IP e, para se conectar a ele, existem diversos caminhos. Isto é, uma operadora que possui uma rede GPRS/EDGE ou um sistema não 3GPP conseguem se conectar a uma rede LTE.

O LTE também foi o primeiro padrão a utilizar o OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) como técnica de acesso ao meio. O OFDMA consiste em dividir a banda disponível em múltiplas subportadoras, transmitindo os dados de um ou mais usuários em várias dessas subportadoras e de maneira simultânea (TELECO, c2021).

As principais características do 4G são a alta eficiência espectral e a baixa latência, além da alta qualidade de voz. Ademais, com o 4G foi possível alcançar uma velocidade de dados de até 100 Mbps, facilitando o acesso à internet, videochamadas, jogos online e outros serviços complexos, como o *streaming* de vídeos.

2.1.7 LTE Advanced e LTE Advanced Pro – 4G+ e 4.5G

Além da tecnologia LTE já especificada acima, foram desenvolvidas outras duas tecnologias: o LTE Advanced e o LTE Advanced Pro, conhecidas como 4G+ e 4.5G, respectivamente. As mesmas apresentam vantagens significativas em relação ao LTE.

Desenvolvido no *Release 10* do 3GPP, o LTE Advanced tem como principal característica a agregação de portadora (*carrier aggregation*), a qual permite que o aparelho celular se conecte ao mesmo tempo em mais de uma frequência ou faixa de espectro. Com isso, torna-se possível aumentar a capacidade de transferência de dados em relação ao 4G LTE (BRAGA, 2018).

Já o LTE Advanced Pro, também conhecido como 4.5G, surgiu como um aprimoramento do 4G+, permitindo maior velocidade de dados. Suas principais características, além da agregação de portadora, são o uso de técnicas de acesso MIMO 4x4, que utiliza 4 antenas de transmissão e 4 antenas de recepção para transmissão do sinal e dos dados em uma rede, e o uso de modulação 256QAM, que proporciona uma maior eficiência espectral e possibilita que um maior volume de dados seja transmitido.

2.2 ASPECTOS TEÓRICOS DA QUINTA GERAÇÃO DOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS (5G)

2.2.1 Características das Redes 5G

A tecnologia móvel de quinta geração, como já mencionado anteriormente, surge para revolucionar os sistemas de comunicações móveis, atingindo marcas nunca vistas anteriormente.

Em relação à tecnologia anterior, o 4G LTE, é possível observar algumas características que mostram a evolução do 5G. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as duas tecnologias.

Tabela 1 – Comparativo entre as tecnologias 5G e 4G LTE-Advanced

(continua)

Característica	LTE-Advanced	5G
Downlink (Gbps)	1,0	20
Uplink (Gbps)	0,5	10
Taxa de dados do usuário (Mbps)	10	100

Tabela 1 – Comparativo entre as tecnologias 5G e 4G LTE-Advanced

Característica	(conclusão)	
	LTE-Advanced	5G
Latência (ms)	~10	<1
Eficiência Espectral	1	3x melhorada
Consumo Energético	Maior consumo energético	Redução de até 90% no consumo de energia da rede

Fonte: produção do próprio autor.

* Valores de taxas de dados teóricos são aproximados.

- Downlink: a taxa de downlink mede a velocidade com a qual a informação chega da Estação Radio Base (ERB) até o equipamento do usuário (*UE – User Equipment*). Com o 5G, será possível atingir uma taxa de downlink de até 20 Gbps, taxa esta 20x maior que a do 4G.
- Uplink: a taxa de uplink, por sua vez, mede a velocidade de “subida” dos dados. Ou seja, a velocidade com a qual a informação chega do equipamento do usuário até a ERB. No 5G, o uplink atinge taxas de até 10 Gbps.
- Taxa de dados do usuário: já a taxa de dados do usuário indica a velocidade de envio e resposta dos dados. Com o 5G, atinge-se uma taxa de dados do usuário de até 100 Mbps.
- Eficiência espectral: a eficiência espectral é um dos parâmetros mais importantes na avaliação das redes móveis e, com o 5G, tem-se uma eficiência espectral 3x melhor do que a do 4G. Isto significa um aumento na quantidade de dados transmitidos por unidade de espectro eletromagnético.
- Latência: a latência consiste no tempo de resposta que um sinal leva para se deslocar. Com a baixíssima latência do 5G (cerca de 10x menor que a taxa de latência da tecnologia 4G), algumas aplicações como os carros conectados e autônomos podem ser implementadas mais facilmente e com maior segurança e confiabilidade.
- Consumo energético: o baixo consumo energético das redes de tecnologia móvel 5G permitirão o prolongamento da vida útil de baterias, fazendo com que objetos conectados a esta rede possam funcionar por meses ou anos sem a interferência do homem.

2.2.2 Casos de Uso do 5G

As características da tecnologia 5G, mencionadas acima, contribuem para que os sistemas 5G possam se basear em três principais casos de uso. São eles: *enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, *Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC)* e *massive Machine Type Communications (mMTC)* (GHOSH et al, 2019).

A primeira versão do 3GPP criada para atender os requisitos da rede 5G, foi o *Release 15*, que correspondeu à primeira fase do NR. Esta versão, além de especificar a banda de frequência alocada para o 5G, foi a responsável por definir os três casos de uso mencionados acima, tendo focado, no entanto, apenas no primeiro caso de uso.

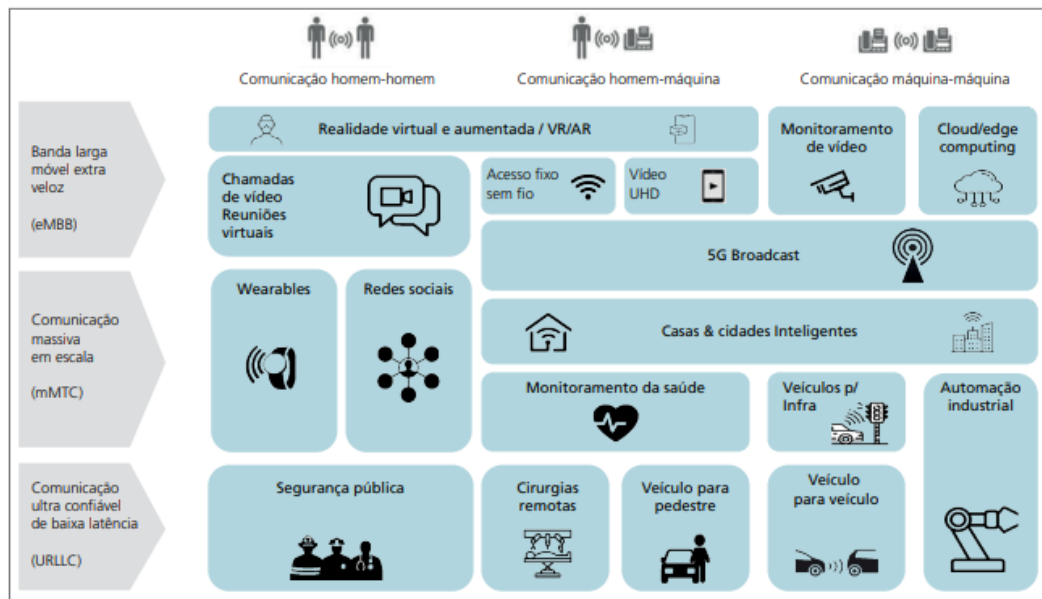
O *eMBB* trata-se do fornecimento de serviço de banda larga móvel, exigindo alta capacidade, altas taxas de dados e uma melhor cobertura e, assim, garantindo significativa melhora na experiência do usuário. Basicamente, o *eMBB* é uma extensão dos serviços já fornecidos pelos sistemas LTE.

Já o *mMTC* teve parte de seu desenvolvimento previsto no 3GPP *Release 13*, quando foram desenvolvidas as tecnologias LTE-M e NB-IoT e que proporcionam o desempenho de área ampla de baixa potência. Ou seja, estas tecnologias são utilizadas em aplicações de baixo consumo de dados, mas proporcionam melhor cobertura, menor custo e menor consumo energético. Com o 5G NR, espera-se que os resultados nas aplicações de *mMTC* sejam melhorados.

Por fim, o *URLLC* diz respeito a serviços que proporcionarão uma série de novos recursos da rede, garantindo alta confiabilidade através de sua baixíssima latência. Ou seja, este serviço melhora a qualidade da rede e a torna apta a suportar diversos aplicativos. Entre as diversas aplicações do *URLLC* tem-se a automação industrial, o transporte inteligente e as cirurgias remotas, sendo que, em todas elas, é notório que qualquer latência ou atraso pode custar a vida de uma pessoa.

A Figura 4, abaixo, exhibe alguns exemplos de possíveis aplicações para cada caso de uso do 5G.

Figura 4 – Casos de Uso do 5G e suas possíveis aplicações



Fonte: Spadinger (2021).

2.2.3 O 5G e suas aplicações em IoT

A Internet das Coisas (*IoT*) tem como princípio conectar diversos dispositivos à Internet, sendo que cada um destes dispositivos pode funcionar com ou sem a intervenção humana, a qualquer hora e em qualquer lugar (ROSA et al, 2017).

A chegada da quinta geração de comunicações móveis (5G) torna a Internet das Coisas cada vez mais possível, tendo em vista a sua necessidade por redes que conectem uma grande quantidade de dispositivos simultaneamente, oferecendo alta confiabilidade e baixíssima latência. A seguir, encontram-se algumas das principais aplicações que serão favorecidas com a chegada do 5G:

- a) *Smart Cities* (Cidades Inteligentes): através da aplicação do 5G para IoT nas cidades, será possível melhorar a infraestrutura e promover uma série de benefícios aos cidadãos e à cidade como um todo, através de aplicações em áreas como transporte, cultura e educação, água e energia, segurança pública, integração social, e outras (PORTAL 5G, c2020). Um exemplo de caso de uso será a utilização de veículos conectados e autônomos no transporte das cidades, reduzindo os acidentes e melhorando o tráfego nas ruas.
- b) *Smart Homes* (Casas Inteligentes): as casas inteligentes visam proporcionar ao morador uma melhor qualidade de vida, através da adição de diversos dispositivos tecnológicos conectados à residência. Dentre estes dispositivos

têm-se as televisões inteligentes, e equipamentos de som e *home theaters*, para um maior conforto e entretenimento; as câmeras, alarmes e sensores de movimento, que contribuem para uma maior segurança do lar; os dispositivos de controle de temperatura e umidade do ar, que fazem o controle do ambiente; os sistemas de iluminação inteligente e medidores de água, luz e gás, que têm como objetivo reduzir o consumo de energia; e outros.

- c) *Healthcare*: o conceito de *healthcare* está associado à relação entre o IoT e os dispositivos tecnológicos ligados à área da saúde. As aplicações de *healthcare* se concentram em quatro categorias de casos de uso (ERICSSON, c2021), sendo elas as Aplicações de Pacientes, voltadas às aplicações centralizadas no paciente e utilizadas fora do ambiente hospitalar, como aplicativos para monitorar, alertar e administrar os medicamentos; Aplicações Hospitalares, utilizadas dentro do ambiente hospitalar para diversos fins, como treinamentos em realidade virtual (VR) para procedimentos cirúrgicos; Gerenciamento de dados médicos, relacionado à sistemas que gerenciam e analisam os registros do paciente; e outras quaisquer aplicações que auxiliam no acesso rápido à assistência médica, como o drone ambulância.
- d) Veículos Conectados e Veículos Autônomos: um veículo conectado consiste em um veículo que possui conexão com a *internet*, porém seu funcionamento não depende da mesma. Este veículo já se encontra no mercado, no entanto, com a chegada do 5G aplicado à *Internet* das Coisas, será possível aprimorar suas funcionalidades como, por exemplo, através da coleta de dados de sensores em semáforos e de sinalizações rodoviárias, a fim de planejar o melhor caminho e diminuir o consumo de combustíveis. Por outro lado, o veículo autônomo que, para funcionar, necessita de conexão com a *internet* e pode se locomover sem a necessidade de um motorista, será uma nova realidade, graças à alta confiabilidade e baixíssima latência promovidas pelo 5G.
- e) Realidade Virtual (*Virtual Reality – VR*) e Realidade Aumentada (*Augmented Reality – AR*): a realidade virtual é a tecnologia que possibilita o usuário adentrar em um ambiente virtual e tridimensional, com interação em tempo real. Já a realidade aumentada é a integração de elementos tridimensionais com o ambiente do mundo real, como o jogo *Pokémon Go*. Para que as realidades virtual e aumentada funcionem de maneira plena, é necessária

baixa latência, boa qualidade do serviço e alta capacidade, características estas que serão atingidas com as redes 5G.

- f) Automação Industrial: a automação industrial compreende uma série de tecnologias de hardware e software e outros dispositivos, que têm como objetivo tornar os processos industriais automáticos e com a menor intervenção humana possível. Com a tecnologia 5G impactando na automação industrial, será possível, por exemplo, controlar todo o processo de produção de uma fábrica através de robôs, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade do processo.

Além das aplicações vistas acima, há diversas outras aplicações em IoT que se beneficiarão com o 5G, dentre elas a Agricultura Inteligente, que será abordada no capítulo mais à frente.

2.2.4 Principais Tecnologias das Redes 5G

2.2.4.1 Espectro Definido

As bandas de frequência designadas para a primeira e a segunda gerações dos sistemas de comunicações móveis estavam na faixa de 800-900 MHz, apesar de também operarem em algumas bandas acima e abaixo. Com a chegada do 3G, novas bandas foram adicionadas. No entanto, as bandas previamente utilizadas se mantiveram em uso para esta, até então, nova tecnologia. Isto se estendeu para a tecnologia seguinte, o 4G, e também será o caso para a quinta geração de serviços móveis (DAHLMAN; PARKVALL; SKÖLD, 2020).

Vale ressaltar que bandas em diferentes frequências possuem diferentes características. Bandas em frequências menores possuem, devido às suas propriedades de propagação, um maior alcance e, com isso, são recomendadas para locais com amplas áreas de cobertura (ambientes urbanos e rurais). Já as bandas em frequências mais altas, por possuírem um menor alcance, são muito utilizadas para aumentar a capacidade em implantações mais densas.

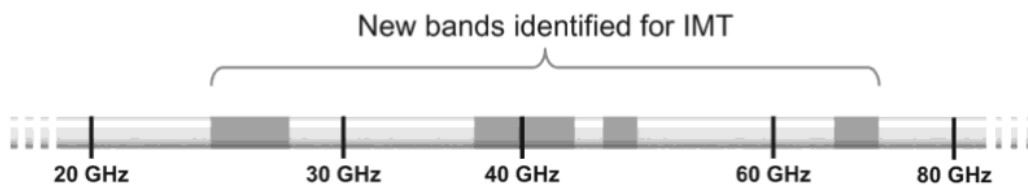
A chegada do 5G e seus casos de uso demandarão taxas de dados cada vez mais altas e uma maior capacidade em implantações densas e, apesar das primeiras implantações do 5G utilizarem bandas de frequências previamente utilizadas nas gerações anteriores, as bandas acima de 24 GHz são indicadas para complementar as bandas de frequência que se encontram

abaixo de 6 GHz. Além disso, em razão dos requisitos do 5G de altas taxas de dados e áreas com demandas de capacidade de tráfego muito altas, são consideradas para o futuro implantações 5G que utilizarão frequências muito mais altas, conhecidas como bandas de Ondas Milimétricas (*Millimeter Wave – mmWave*).

A Figura 5 apresenta as novas bandas identificadas para o IMT (*International Mobile Telecommunications*), mostradas em cinza na imagem. São elas:

- 24,25-27,5 GHz
- 37-43,5 GHz
- 45,5-47 GHz
- 47,2-48,2 GHz
- 66-71 GHz

Figura 5 – Novas bandas identificadas para o IMT



Fonte: Dahlman; Parkvall; Sköld (2020).

Deve-se notar que outras bandas de frequência também estão sendo consideradas para identificação do IMT. São elas:

- 3300-3400 MHz
- 3600-3800 MHz
- 6425-7025 MHz
- 7025-7125 MHz
- 10,0-10,5 GHz

Basicamente, há um forte interesse global para tornar o espectro disponível para as implantações do 5G, tendo o 3GPP concentrado seus esforços em bandas que possuem um maior interesse. O espectro de interesse pode ser dividido em bandas de baixa, média e alta frequências.

As bandas de baixa frequência consistem nas bandas do LTE já existentes e que estão abaixo de 2 GHz. Essas bandas são adequadas para cobertura de área ampla em ambientes externos, além de fornecerem cobertura profunda em ambientes internos. O espectro recém-alocado para as bandas de baixa frequência abrangem as bandas de 600 e 700 MHz, com uma largura de banda do canal de até 20 MHz.

Já as bandas de média frequência se encontram na faixa de 2-6 GHz e são ideais para fornecerem cobertura, capacidade e latência. Além disso, com as bandas de média frequência, é possível atingir uma largura de banda do canal de até 100 MHz.

Por fim, as bandas de alta frequência correspondem às bandas de ondas milimétricas, e que estão acima de 24 GHz. A largura de banda do canal pode chegar a até 400 MHz. A banda alta será adequada para serviços com taxas de dados muito altas e aplicações que exigirão baixa latência. No entanto, em áreas mais amplas, uma vez que possui alcance de cobertura limitado, é necessário combinar esta banda com as bandas de baixa e média frequências.

As bandas de frequência apresentadas no *Release 15* do 3GPP estão divididas em dois *ranges* de frequência, sendo:

- *Range 1* (FR1): todas as bandas existentes no intervalo de 410-7125 MHz.
- *Range 2* (FR2): bandas no intervalo de 24,25-52,6 GHz.

Tabela 2 – Bandas de operação definidas pelo 3GPP para o NR no *Range 1* (FR1)

(continua)

Banda NR	Range do Uplink (MHz)	Range do Downlink (MHz)	Modo Duplex	Região(ões) Principal(is)
n1	1920-1980	2110-2170	FDD	Europa, Ásia
n2	1850-1910	1930-1990	FDD	Américas (Ásia)
n3	1710-1785	1805-1880	FDD	Europa, Ásia (Américas)
n5	824-849	869-894	FDD	Américas, Ásia
n7	2500-2570	2620-2690	FDD	Europa, Ásia
n8	880-915	925-960	FDD	Europa, Ásia
n12	699-716	729-746	FDD	EUA
n14	788-798	758-768	FDD	EUA
n18	815-830	860-875	FDD	Japão
n20	832-862	791-821	FDD	Europa
n25	1850-1915	1930-1995	FDD	Américas
n28	703-748	758-803	FDD	Ásia/Pacífico
n29	N/A	717-728	N/A	Américas
n30	2305-2315	2350-2360	FDD	Américas
n34	2010-2025	2010-2025	TDD	Ásia
n38	2570-2620	2570-2620	TDD	Europa

Tabela 2 – Bandas de operação definidas pelo 3GPP para o NR no *Range 1* (FR1)

(conclusão)

Banda NR	Range do Uplink (MHz)	Range do Downlink (MHz)	Modo Duplex	Região(ões) Principal(is)
n39	1880-1920	1880-1920	TDD	China
n40	2300-2400	2300-2400	TDD	Europa, Ásia
n41	2496-2690	2496-2690	TDD	EUA, China
n48	3550-3700	3550-3700	TDD	EUA
n50	1432-1517	1432-1517	TDD	Europa
n51	1427-1432	1427-1432	TDD	Europa
n65	1920-2010	2110-2200	FDD	Europa
n66	1710-1780	2110-2200	FDD	Américas
n70	1695-1710	1995-2020	FDD	Américas
n74	1427-1470	1475-1518	FDD	Japão
n75	N/A	1432-1517	SDL	Europa
n76	N/A	1427-1432	SDL	Europa
n77	3300-4200	3300-4200	TDD	Europa, Ásia
n78	3300-3800	3300-3800	TDD	Europa, Ásia
n79	4400-5500	4400-5500	TDD	Ásia
n80	1710-1785	N/A	SUL	
n81	880-915	N/A	SUL	
n82	832-862	N/A	SUL	
n83	703-748	N/A	SUL	
n84	1920-1980	N/A	SUL	
n86	1710-1780	N/A	SUL	Américas
n89	824-849	N/A	SUL	
n90	2496-2690	2496-2690	TDD	EUA
n91	832-862	1427-1432	FDD	
n92	832-862	1432-1517	FDD	
n93	880-915	1427-1432	FDD	
n94	880-915	1432-1517	FDD	
n95	2010-2025	N/A	SUL	

Fonte: Dahlman; Parkvall; Sköld (2020).

Tabela 3 – Bandas de operação definidas pelo 3GPP para o NR no *Range 2* (FR2)

Banda NR	Range de Uplink e Downlink (MHz)	Modo Duplex	Região(ões) Principal(is)
n257	26500-29500	TDD	Ásia, Américas (global)
n258	24250-27500	TDD	Europa, Ásia (global)
n259	39500-43500	TDD	Global
n260	37000-40000	TDD	Américas (global)
n261	27500-28350	TDD	Américas

Fonte: Dahlman; Parkvall; Sköld (2020).

2.2.4.1.1 Ondas milimétricas

A indústria de comunicações sem fio vem crescendo continuamente e, mesmo com os esforços para desenvolver tecnologias cada vez mais eficientes, vem enfrentando um grande aumento de demandas, sejam elas em aplicações já implantadas ou com o surgimento de novos casos de uso (AZAR et al, 2013).

Este aumento de demanda acaba por provocar uma escassez global da largura de banda, dada a necessidade de gerenciamento simultâneo de diversas tecnologias dentro do mesmo espectro de banda limitada. No momento, o espectro alocado para as operadoras é dividido em bandas de frequências separadas, sendo que cada uma delas possui diferentes redes de rádio com diferentes características.

Assim, torna-se fundamental uma tecnologia de acesso de rádio eficiente aliada a uma maior disponibilidade de espectro para, assim, satisfazer às constantes demandas da indústria de comunicações sem fio. E esta é a proposta do 5G ao utilizar bandas de ondas milimétricas, como já mencionado anteriormente.

Dado que a largura de banda *mmWave* é mais ampla, a mesma possibilita o aumento da taxa de dados, além de maximizar o uso da banda de frequência disponível (IQBAL et al, 2020). No entanto, as frequências de ondas milimétricas fornecem alta atenuação, interferência e desvanecimento. Portanto, devido a sua frequência de curto alcance, estas ondas não conseguem viajar bem entre objetos físicos, como paredes, edifícios e árvores, e tendem a ser absorvidas pelas plantas e pela chuva.

Para contornar este problema das *mmWaves*, a tecnologia 5G conta com as chamadas *Small Cells*.

2.2.4.2 *Small Cells*

Como comentado anteriormente, as ondas milimétricas de alta frequência não conseguem transitar muito bem através de edifícios e alguns outros obstáculos, além de terem a propensão de serem absorvidas por plantas e pela chuva.

Para solucionar este problema e evitar que haja perda de sinal durante o uso dos serviços 5G, surgem as chamadas *Small Cells*. As *Small Cells* são projetadas para cobrir as áreas urbanas e consistem em miniestações rádio base que, aliadas à rede macro, ou seja, às macro estações rádio base, reduzem as distâncias com o equipamento do usuário.

Com isso, é possível tornar a rede mais próxima do usuário, melhorando a cobertura da rede e transmitindo sinais através dos obstáculos, uma vez que, conforme o usuário se move atrás de um objeto, seu aparelho muda automaticamente para uma nova estação rádio base com melhor alcance do dispositivo, permitindo que ele mantenha a sua conexão (CLARK; GORMAN; NORDRUM, 2017)

A Figura 6 exibe o esquema de funcionamento das redes de *Small Cells*.

Figura 6 – Rede de *Small Cell* para Comunicações 5G



Fonte: Abd-Alhameed et al (2020).

2.2.4.3 *Massive MIMO*

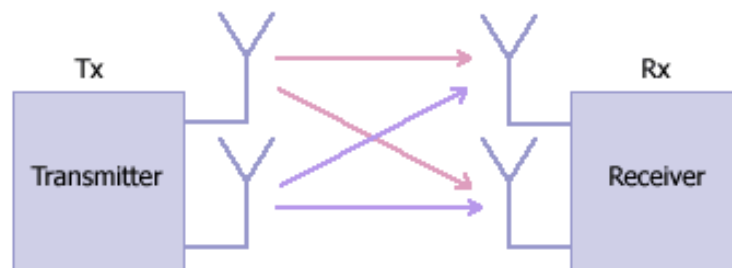
Com a evolução das comunicações sem fio, tornou-se importante desenvolver tecnologias que contribuíssem no fornecimento de altas taxas de dados, bem como no

aumento da confiabilidade do sistema. Visando isto, a técnica MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) surgiu e foi aplicada nas redes celulares de quarta geração (4G) (ZHAO et al, 2018).

No entanto, a fim de atingir os requisitos do 5G de altas confiabilidade, eficiência espectral e eficiência energética, foram necessários alguns avanços. Dentre eles, têm-se a técnica de *Massive MIMO*, ou MIMO massivo.

Primeiramente, é importante compreender o conceito de um sistema MIMO. O mesmo consiste em um conjunto de antenas de transmissão e recepção, sendo assim um sistema que emprega diversidade espacial. A Figura 7 apresenta um sistema MIMO que utiliza a configuração 2x2.

Figura 7 – Sistema MIMO 2x2

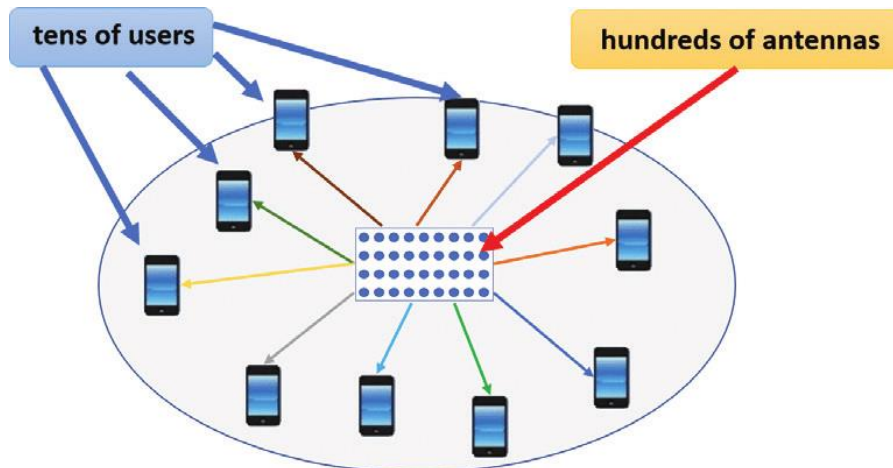


Fonte: Conniq (c2005-2012).

Um sistema MIMO pode ainda ser dividido em *Multi-User MIMO* (MU-MIMO) e *Single User MIMO* (SU-MIMO), sendo que no SU-MIMO apenas um usuário transmite os dados para o receptor, enquanto que no MU-MIMO vários usuários transmitem para o receptor ao mesmo tempo.

A fim de ampliar os ganhos do MIMO tradicional, foi proposto o conceito do MIMO massivo. Este consiste em um sistema que pode utilizar centenas de antenas para atender dezenas de UEs simultaneamente. A Figura 8 apresenta o princípio de operação do *Massive MIMO*.

Figura 8 – Princípio de operação do *Massive MIMO*



Fonte: Rango (2018).

Com o MIMO massivo, é possível melhorar a eficiência espectral, uma vez que é possível obter maiores ganhos de multiplexação ao atender dezenas de UEs ao mesmo tempo. Além disso, há também uma melhora na eficiência energética, visto que a utilização de mais antenas auxilia a focalizar a energia com feixes demasiado estreitos em pequenas áreas nas quais estão localizados os UEs. Porém, este último só é possível graças a técnica de *Beamforming*.

Isto porque as antenas celulares transmitem informações em todas as direções simultaneamente, e o cruzamento de diferentes sinais pode causar sérias interferências. A técnica de *Beamforming*, portanto, é utilizada para resolver este problema.

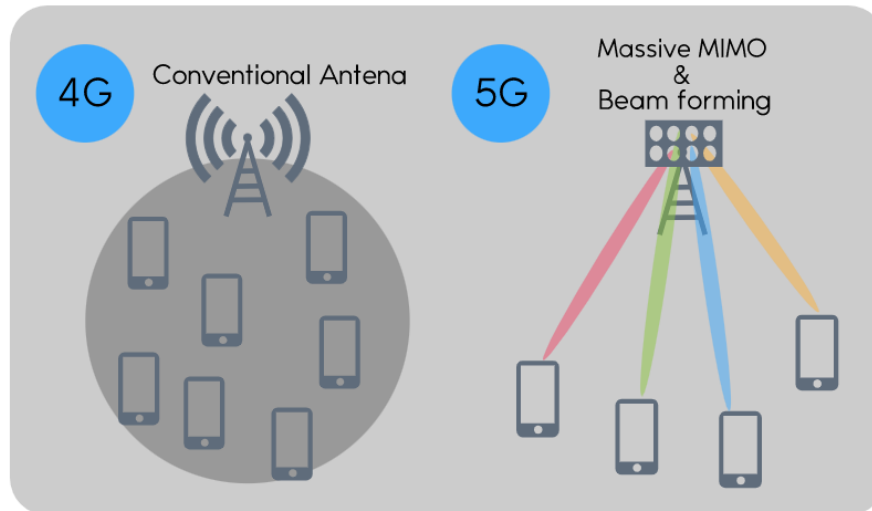
2.2.4.4 *Beamforming*

O *Beamforming* corresponde a um conjunto de técnicas utilizadas para controlar a interferência de múltiplas ondas, possibilitando um aumento na força do sinal na direção do alvo (GAZDA et al, 2018).

Este mecanismo pode ser obtido por meio do uso de diversas antenas de transmissão com diferentes deslocamentos de fase. Isto porque, sem o *Beamforming*, todas as transmissões ocorreriam na mesma fase, resultando em um padrão de irradiação circular. Porém, dado que a demanda de tráfego quase nunca é uniforme, este padrão circular e não direcionado não se torna eficaz.

A Figura 9 compara o padrão de irradiação de uma antena convencional, utilizada nas redes 4G, com o padrão de irradiação das redes 5G, que utiliza as técnicas de *Massive MIMO* e *Beamforming*.

Figura 9 – Antena Convencional (4G) X *Massive MIMO* e *Beamforming* (5G)



Fonte: 5G Zenkai (201-?).

2.2.4.5 Network Slicing

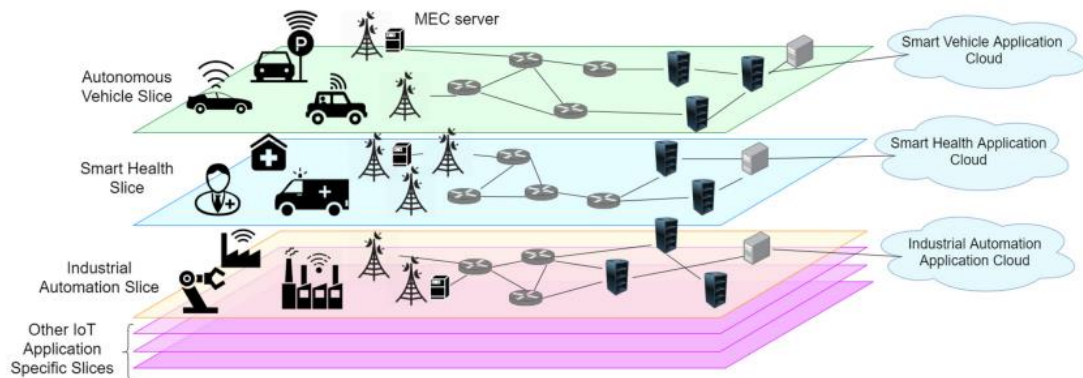
Dado que as redes 5G possuem a capacidade de oferecer aplicações para os três casos de uso vistos anteriormente (eMBB, mMTC e URLLC), é importante observar que cada caso de uso possui um determinado conjunto de requisitos de rede. Através de novas tecnologias, a arquitetura 5G é capaz de lidar com todos estes requisitos. E esse é o caso do *Network Slicing*, ou Fatiamento de Rede (LIYANAGE; WIJETHILAKA, 2021).

O *Network Slicing* consiste em dividir a rede física em redes lógicas separadas, chamadas de fatias. Cada fatia pode ser configurada de modo a oferecer recursos e características de rede específicos.

Como por exemplo, tem-se que os casos de uso de IoT para Operações Críticas necessitam de mais de 99,99% de nível de confiabilidade e menos de 1 ms de Latência E2E, enquanto que, para aplicações de automação de fábrica, são necessários baixíssima taxa de perda de pacote e latência entre 250 μ s e 10 ms. Estes diferentes requisitos podem ser satisfeitos através da alocação de uma fatia de rede E2E aplicada para cada caso.

A Figura 10, abaixo, apresenta o esquema de funcionamento do *Network Slicing*.

Figura 10 – Network Slicing



Fonte: Liyanage; Wijethilaka (2021).

A ideia do *Network Slicing* como um serviço (NSIaaS) é fazer com que as operadoras de rede móvel possam criar fatias de rede personalizadas para os seus clientes como um serviço, propiciando um novo modelo de negócio para as mesmas. Com o fatiamento de rede, os recursos são utilizados com maior eficiência, de modo que os mesmos são dinamicamente ajustados entre as fatias.

Além disso, o rápido crescimento e a disseminação dos dispositivos de IoT estão atraindo uma série de invasores no ecossistema de IoT. Estes dispositivos podem ser facilmente dominados a fim de gerar ataques de Negação de Serviço Distribuído (DDoS), que visam sobrecarregar o tráfego de internet para que os usuários não consigam utilizar o sistema. Com o fatiamento de rede, é possível minimizar esses ataques através do isolamento dos dispositivos de IoT.

2.2.5 Arquitetura das Redes 5G

As redes 5G foram desenvolvidas com a finalidade de explorar novas funcionalidades das comunicações móveis. A partir disso, e considerando a orientação dada pelo ITU-R a respeito dos requisitos técnicos e critérios de avaliação, o 3GPP, em 2015, deu início à padronização do 5G e, em junho de 2018, foi lançada a primeira padronização de um novo sistema 5G, que incluía a nova interface aérea (NR) e a rede de *core* 5G (5GC). Este é o chamado *5G Standalone* (SA), que promete oferecer todos os recursos da tecnologia 5G (CHEN et al, 2020).

Contudo, a implantação do 5G puro, ou seja, na arquitetura *Standalone*, exige um alto investimento por parte das operadoras, além de também levar tempo. Assim, dada a forte

competição entre as operadoras para liderar a implantação do 5G, tornou-se uma boa ideia inserir a interface aérea 5G NR à rede 4G já existente, ou seja, LTE/EPC, como uma espécie de canal de dados extra. Ao final de 2017, portanto, o 3GPP padronizou a implantação 5G *Non-Standalone* (NSA) com base na conectividade *dual* entre o 4G e o 5G.

Visando a implantação da rede 5G, e dado que o 3GPP identificou cinco arquiteturas que se enquadram nas categorias NSA e SA, as opções 2 (SA) e 3 (NSA) foram as escolhidas para serem suportadas pelos fornecedores e pelas operadoras. Portanto, a seguir, estas duas opções serão abordadas detalhadamente.

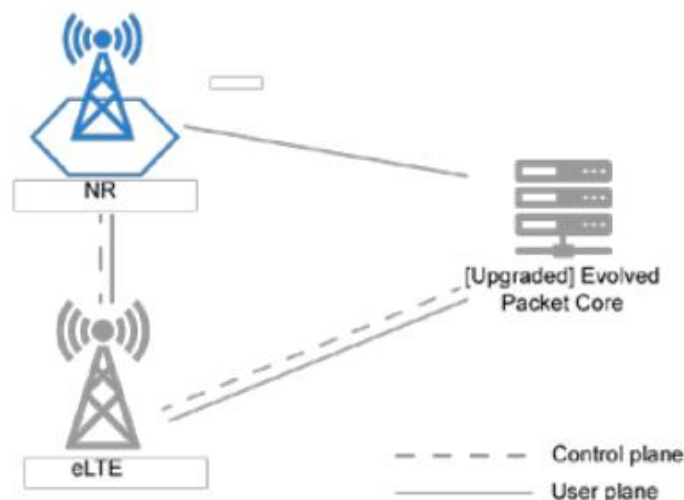
2.2.5.1 Arquitetura *Non-Standalone*

A arquitetura 5G *Non-Standalone* refere-se ao sistema que utiliza o LTE como âncora do plano de controle para o NR. Nesta arquitetura, o NR serve como um canal de dados extra, sendo utilizado quando sua capacidade é necessária e tem-se cobertura 5G disponível. Quando o dispositivo sai de uma área com cobertura 5G, ele passa a funcionar apenas no LTE.

Para isso, o 5G NSA utiliza a rede *core*, isto é, o núcleo que concentra a capacidade computacional e de gerenciamento das redes e serviços de telecom (JULIÃO, 2021), já existente do LTE (EPC – *Evolved Packet Core*). Neste *core*, é possível conectar as estações base do LTE e as estações base do NR.

A Figura 11 ilustra a arquitetura de rede 5G NSA (Opção 3).

Figura 11 – Arquitetura de Rede 5G *Non-Standalone*



Fonte: Teral (2019).

É importante ressaltar que a arquitetura NSA utiliza conectividade *dual*. Isto significa que o dispositivo móvel se mantém conectado às duas redes (LTE e NR) simultaneamente. Portanto, quando o dispositivo se encontra em uma área que possui tanto cobertura LTE quanto cobertura NR, ele será conectado em ambos os sistemas ao mesmo tempo. Porém, as células 5G dependerão da rede LTE para as funções de controle, enquanto que o plano do usuário pode ser transferido para o NR ou encaminhado para o LTE e, então, enviado ao usuário.

Dentre as vantagens da arquitetura 5G *Non-Standalone*, tem-se o interfuncionamento 4G/5G, bem como o menor custo de investimento para a implantação inicial. Além disso, quando necessário, a arquitetura 5G NSA pode ser evoluída para a arquitetura 5G SA.

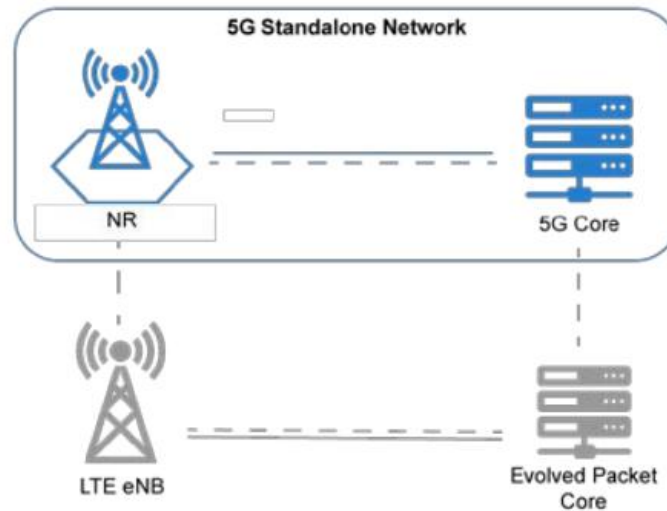
2.2.5.2 Arquitetura *Standalone*

A arquitetura 5G *Standalone*, por sua vez, trata-se do sistema 5G que é composto pela interface aérea NR e pelo *core* 5GC. No 5G SA, diferentemente da arquitetura NSA, o NR é a âncora do plano de controle.

É importante ressaltar que a rede *Standalone* mantém o interfuncionamento com a rede 4G LTE, que acontece da seguinte forma: quando o dispositivo do usuário se encontra em uma área com cobertura NR, o mesmo ancora no *core* 5GC e sua mobilidade é gerenciada por este *core*. Já quando o UE sai da cobertura 5G, o mesmo é encaminhado e conectado à rede LTE/EPC como um dispositivo geral LTE. Assim, na rede 5G SA, tem-se que o dispositivo opera somente no modo 5G ou no modo 4G.

A Figura 12 apresenta a arquitetura de rede 5G SA (Opção 2).

Figura 12 – Arquitetura de Rede 5G *Standalone*



Fonte: Teral (2019).

A arquitetura SA possui maior complexidade e maior custo se comparada à arquitetura NSA. No entanto, com o 5G *Standalone*, é possível lançar novos serviços 5G, como as casas e cidades inteligentes e aplicações de automação industrial. Por sua vez, a automação aumenta a eficiência e diminui os custos de operação das redes. Ademais, com a arquitetura SA é possível realizar o fatiamento da rede (*Network Slicing*), visto que utiliza o *core* 5GC.

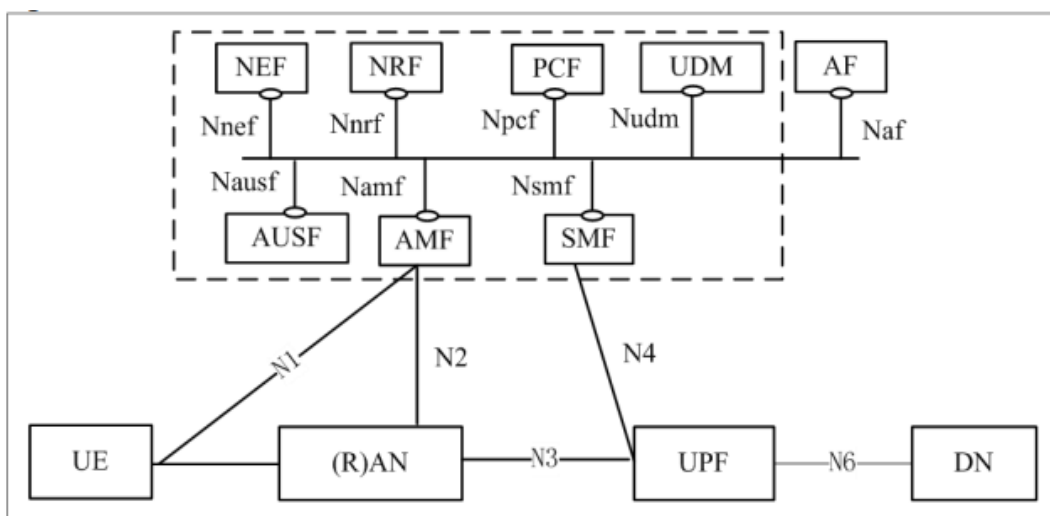
2.2.5.3 Core 5GC

Depois de apresentadas as duas arquiteturas de rede 5G, é possível observar que a principal diferença entre elas é a presença ou não do *core* 5G. O 5GC foi desenhado para ser nativo da nuvem (*cloud-native*), além de ser dependente da virtualização. Além disso, com o 5GC será possível amplificar a gama de serviços a serem oferecidos além da banda larga móvel aprimorada (eMBB). Isto significa a implantação de novos serviços, voltados à comunicação ultra confiável de baixa latência (URLLC) e à comunicação massiva do tipo máquina (mMTC), que possibilitarão novas aplicações e a exploração de novos mercados.

O *core* 5GC também proporciona um novo padrão no quesito qualidade de serviço, e o *Network Slicing* é o recurso mais importante a ser utilizado. Com o *Network Slicing* será possível que as operadoras empreguem diferentes Qualidades de Serviços (QoS – *Quality of Service*) para cada caso de uso.

A Figura 13, abaixo, apresenta a arquitetura da rede *core* 5G, com suas funções de rede (NF – *Network Function*) e as interfaces entre as mesmas. Na representação, as funções do plano de controle estão indicadas dentro da linha pontilhada e suas conexões ocorrem através de interfaces baseadas em serviço (BROWN, 2017). As interfaces N1, N2 e N4 conectam a Função de Gerenciamento de Acesso (AMF – *Access and Mobility Management Function*) e a Função de Gerenciamento de Sessão (SMF – *Session Management Function*) com o plano do usuário, a fim de gerenciar o acesso, a mobilidade e as sessões do usuário assinante.

Figura 13 – Arquitetura *Core* 5G



Fonte: Brown (2017).

Os principais elementos que compõem o *core* 5G são:

- **AMF (*Access and Mobility Management Function*):** é a função responsável por gerenciar o controle de acesso, mobilidade e conexão do usuário.
- **SMF (*Session Management Function*):** é responsável pela configuração e gerenciamento de sessão, bem como pela alocação e gerenciamento do endereço de IP do dispositivo do usuário.
- **UPF (*User Plane Function*):** é a função do plano de usuário, que auxilia no roteamento e encaminhamento de pacotes, bem como sua inspeção, além de suportar o tratamento de QoS, a fim de assegurar a integridade dos dados. A UPF faz a ponte entre a rede de dados (DN – *Data Network*) e o UE.
- **PCF (*Policy Control Function*):** é responsável por fornecer as políticas de gerenciamento de fatiamento de rede, roaming e mobilidade.

- UDM (*Unified Data Management*): responsável por armazenar os dados e perfis dos assinantes, a fim de gerenciar os usuários.
- NRF (*NF Repository Function*): consiste em uma nova funcionalidade, responsável por registrar todos os elementos 5G disponíveis na rede, junto com os serviços disponíveis por estes elementos do *core* 5G. Além disso, esta função permite que outras NFs descubram umas às outras e possam se comunicar.
- NEF (*Network Exposure Function*): é responsável por permitir que usuários externos (empresas e operadoras) possam monitorar os recursos e serviços oferecidos pela rede com segurança.
- AUSF (*Authentication Server Function*): atua como um servidor de autenticação.
- AF (*Application Function*): é responsável por acessar a NEF a fim de recuperar recursos, bem como interagir com a PCF para controle de políticas.

3 PANORAMA DO USO DO 5G NO BRASIL E NO MUNDO

De acordo com o relatório *Ericsson Mobility Report* de novembro de 2021, estima-se que, até o final de 2027, existirão cerca de 4,4 bilhões de assinaturas 5G. Além disso, 40% de conexões de IoT celular serão de IoT em Banda Larga e 51% de conexões de IoT celular serão de IoT Massivo (ERICSSON, 2021).

É sabido que a implementação da tecnologia 5G no mundo ocorre a diferentes passos. De acordo com o relatório da Viavi Solutions, *The State of 5G*, publicado em junho de 2021, o 5G comercial encontra-se disponível 1662 cidades de 65 países do mundo. São 301 novas cidades que implantaram a tecnologia desde o início de 2021, representando um aumento de mais 20%.

Além disso, ainda de acordo com o relatório publicado, a China lidera o ranking dos países com o maior número de cidades que já possuem a tecnologia 5G disponível, com 376 cidades, seguido dos Estados Unidos (284 cidades) e das Filipinas (95 cidades). Quando a cobertura 5G é vista por região, tem-se a Ásia como líder, com 641 cidades, seguida dos países da EMEA (Europa, Oriente Médio e África), com 623 cidades e, por último, a região das Américas, com 398 cidades.

A Figura 14 apresenta os dez países com o maior número de cidades com cobertura 5G, extraída do relatório *The State of 5G*.

Figura 14 – Os 10 países com mais cidades com cobertura 5G disponível



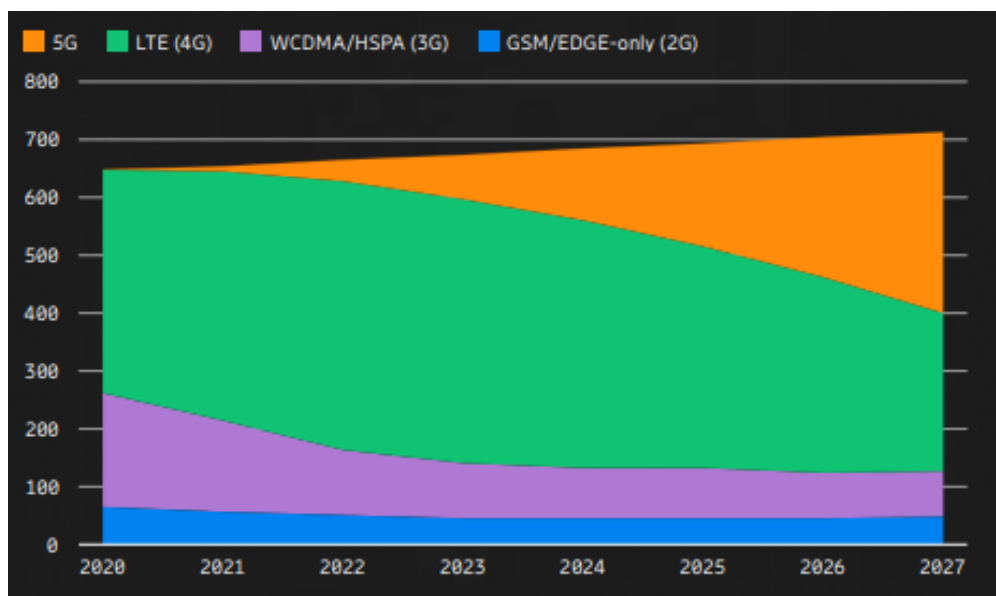
Fonte: Viavi Solutions (2021).

Peru, Chipre, Uzbequistão e Rússia, até a data da publicação do relatório, foram os novos países que implementaram a tecnologia 5G.

Já o Brasil, até a publicação do relatório *The State of 5G*, não estava incluído na lista de países que possuíam o 5G comercial disponível. No entanto, após o leilão do 5G, ocorrido no dia 4 de novembro de 2021, e responsável por ofertar as frequências de operação da quinta geração de telefonia móvel, o país entrou para a lista de países da América Latina com lançamentos comerciais do 5G, conforme apresentado no relatório *Ericsson Mobility Report* de novembro de 2021.

Ainda de acordo com o relatório *Ericsson Mobility Report* de 2021, até o final de 2027, espera-se que o 5G represente 44% das assinaturas móveis na América Latina, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 – Assinaturas móveis na América Latina por tecnologia (em milhão)



Fonte: Ericsson Mobility Report (2021).

No Brasil, foram ofertadas quatro faixas de frequências no leilão do 5G. São elas: 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz. Além disso, o leilão não teve caráter arrecadatório. Isto significa que grande parte do valor arrecadado não será destinado aos cofres públicos, mas será utilizado como fonte de investimento para ampliar a infraestrutura de telecomunicações no país.

Mesmo com o leilão do 5G, a comercialização do 5G puro no Brasil ainda está em estágio inicial e o 5G DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*) vem sendo a alternativa utilizada pelas operadoras para levar a tecnologia 5G aos seus usuários.

O 5G DSS é a tecnologia de compartilhamento dinâmico de espectro, que utiliza o espectro do 4G LTE para operar. No DSS, as ERBs e a rede são capazes de compartilhar os recursos de forma dinâmica e em cada célula, entre usuários do 4G e do 5G, uma vez que ambos coexistem ao mesmo tempo na mesma frequência. Apesar de não atingir a mesma capacidade e velocidade do 5G puro, a tecnologia é uma interessante alternativa para locais em que ainda não estão definidas as frequências de operação do 5G, além de também poder ser utilizada para ampliar a cobertura 5G durante seu processo de implementação (SPADINGER, 2021).

4 DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DO 5G NO BRASIL

É sabido que a tecnologia móvel de quinta geração promete entregar o que jamais foi visto antes em termos de latência, capacidade, transferência de dados e eficiência energética, permitindo que a tecnologia seja explorada não só em banda larga, mas também em diversas aplicações de IoT.

No entanto, sua implantação e consolidação carregam também alguns desafios a nível mundial e no Brasil. Dentre estes desafios, tem-se: a pandemia do novo Coronavírus (COVID-19), o baixo estímulo à inovação tecnológica no Brasil, bem como a necessidade de ampliação e adequação da infraestrutura no país e, o principal desafio, que está ligado aos aspectos políticos associados à disputa entre Estados Unidos e China.

A seguir, cada tópico será abordado detalhadamente para melhor compreensão dos mesmos.

4.1 PANDEMIA DA COVID-19

Um dos principais problemas que contribuíram para o atraso na implementação da tecnologia 5G no Brasil foi a pandemia da Covid-19, que teve início em março de 2020.

A pandemia, responsável por instaurar medidas restritivas sanitárias no país, impossibilitou a realização dos testes em campo da rede 5G que vinham ocorrendo. Com isso, o leilão precisou ser adiado e, conseqüentemente, o “prazo” para a chegada do 5G comercial no Brasil foi estendido.

Além disso, a pandemia agravou as tensões políticas entre Brasil e China, no que diz respeito à disputa entre China e Estados Unidos pela supremacia comercial e tecnológica, e que será melhor abordado no tópico 4.4 sobre aspectos políticos.

4.2 BAIXO ESTÍMULO À INOVAÇÃO

Frente a outros países, o Brasil ainda possui um baixo incentivo público à inovação, o que acaba por dificultar a consolidação da tecnologia no país.

A fim de preparar e acelerar esta tecnologia no Brasil, o Ministério da Economia junto ao PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), desenvolveram um estudo para analisar as práticas empregadas em países que são referência no 5G e em

inovação e, assim, formular políticas públicas voltadas a esta tecnologia no Brasil (DELOITTE, 2021).

No relatório do estudo, os países escolhidos foram considerados com base em critérios como estágio do leilão do 5G, percentual de área coberta com a tecnologia, número de testes 5G realizados, número de operadoras operando em 5G no país, existência de empresas importantes no ramo do 5G, etc. Além disso, também foram considerados critérios de inovação, como a educação de nível superior, a atividade de patentes, a concentração de empresas no ramo da tecnologia e a concentração de pesquisadores, dentre outros.

Assim, os países selecionados para o estudo foram: Alemanha, China, Colômbia, Coreia do Sul, Estados Unidos, Índia, Irlanda, Israel, Japão, Reino Unido, Rússia e Suécia.

Como conclusão do estudo, observou-se que os países asiáticos (China, Coreia do Sul e Japão), líderes no avanço do 5G, possuem o governo como principal colaborador no ecossistema do 5G, através de investimentos diretos, incentivos fiscais, gestão de recursos, dentre outras políticas favoráveis à aceleração da tecnologia.

No caso de países não-líderes, mas com boas condições econômicas, fatores como o incentivo à *startups* e a criação de centros de desenvolvimento com a participação de empresas privadas e universidades contribuem para o desenvolvimento do 5G.

Por fim, nos países não-líderes e sem condições econômicas avançadas, viu-se que a estratégia deve estar em elaborar estratégias bem definidas, capazes de incentivar o setor privado a investir nesta tecnologia.

4.3 NECESSIDADE DE MELHOR INFRAESTRUTURA

Para que o Brasil possa operar plenamente com a tecnologia 5G, o país muito necessita de ampliar e adequar sua infraestrutura, visando a chegada da nova tecnologia, principalmente em áreas que requerem um maior tráfego de informações, a exemplo das cidades grandes e das zonas comerciais, além de também expandir a cobertura para as zonas rurais (KANAMARU, 2021).

A redes 5G são consideravelmente mais complexas do que as outras redes já existentes. O número de antenas a serem instaladas decorre de diversos fatores, como a densidade populacional e a quantidade de túneis na localidade. Mas estima-se que a tecnologia demandará cerca de cinco a dez vezes mais antenas do que a tecnologia 4G.

E, não somente novas e mais antenas precisarão ser instaladas, mas também outros equipamentos, diferentes dos já utilizados para operar as frequências do 4G, terão de ser instalados, visto que o Brasil terá o modelo do 5G *standalone*.

Dados os pontos expostos anteriormente, entra-se também a questão da precariedade de conectividade em áreas pobres e periféricas, uma vez que uma baixa quantidade de antenas em um local com alto número de usuários significa uma baixa qualidade do sinal de internet.

Portanto, é necessário repensar em como a tecnologia 5G chegará ao país, de forma que a mesma consiga atingir seu pleno funcionamento e com uma infraestrutura que atenda a todos.

4.4 ASPECTOS POLÍTICOS

Um dos principais aspectos que mais marcaram as dificuldades do Brasil na decisão do 5G, foi a determinação da participação da empresa chinesa Huawei na elaboração da estrutura desta tecnologia no país (ABRÃO; SOUSA; SANTOS, 2021).

Isto porque China e Estados Unidos, durante o governo de Donald Trump (2017-2021), marcaram uma forte competição acerca dos padrões tecnológicos, principalmente no que se referia à quinta geração de telefonia móvel e ao controle dos dados que passariam por essas redes. E, além de impedir que as empresas do país (EUA) utilizassem equipamentos de telecomunicações produzidos por empresas chinesas – com destaque para a grande chinesa Huawei – Trump também pressionou outros países para que adotassem o mesmo posicionamento.

A guerra entre China e Estados Unidos se iniciou após o fim da década 70, quando a China passou a investir em educação e indústria e, através de políticas de reforma, conseguiu melhorar sua economia, recebendo diversos investimentos externos e incorporando tecnologias e mecanismos estrangeiros. Com o passar dos anos, o país foi se fortalecendo e se desenvolvendo e, desde o início dos anos 2000, seu governo adotou metas para tornar a China a maior potência global na segunda metade do século XXI.

O crescimento chinês e seu avanço tecnológico, por sua vez, provocaram sérias preocupações dos Estados Unidos no que diz respeito à supremacia comercial e tecnológica, levando os dois países ao atual cenário de disputa. E, como forma de torná-los relativamente independentes em determinados cenários, tem-se no centro desta guerra a área de Tecnologia da Informação (TI). Isto porque o 5G, junto à Internet das Coisas e à Inteligência Artificial,

proporcionará uma série de dados que podem beneficiar os avanços militares, além de fortalecer a inovação econômica.

A fim de defender sua posição diante a esta disputa, os Estados Unidos se utilizaram do discurso de que o uso dos equipamentos chineses poderia significar um risco à segurança de dados nacional, uma vez que a China poderia utilizar estes dados para espionagem. A China, por sua vez, negou as acusações e afirmou que o discurso norte-americano estaria ligado ao interesse do país em impedir o avanço tecnológico chinês.

No que se refere ao 5G, países como Austrália, Nova Zelândia, Canadá, Japão, Reino Unido e Coreia do Sul, estabeleceram restrições à empresa chinesa Huawei na elaboração de suas infraestruturas para esta tecnologia.

No caso dos países da América Latina, a pressão do governo Trump quanto ao uso de equipamentos chineses na construção do 5G também ficou marcada, principalmente devido à insatisfação dos Estados Unidos em relação à dependência destes países com as importações chinesas, além de outras relações comerciais entre a China e os países latino-americanos, incluindo o Brasil.

É importante frisar que, durante os dois primeiros anos (2019-2020) do mandato do atual presidente Jair Bolsonaro, o governo brasileiro esteve em alinhamento diplomático com o país norte-americano. No entanto, tal posicionamento acabou por colocar em risco a relação entre Brasil e China que, desde 2009, é a mais importante aliada comercial do Brasil.

Desta forma, ainda em 2019, o Brasil decidiu por, apesar da pressão norte-americana, não afirmar total alinhamento com os EUA no que se referia ao 5G e à sua relação com a China e, com isso, não declarar nenhum lado na disputa. O Brasil ainda declarou que não restringiria a participação da chinesa Huawei no leilão nacional do 5G.

Porém, com a pandemia da Covid-19 no ano de 2020, que prejudicou mundialmente a imagem da China, o Brasil passou a utilizar diversos discursos contrários ao país asiático e a assumir uma postura favorável aos interesses dos EUA, incluindo no tema do 5G.

Contudo, a atitude tomada pelo governo do Brasil desagradou diversos grupos do país que mantêm importantes relações com a China, como o setor de agricultura, o setor mineral e de energia, e o próprio setor de telecomunicações, uma vez que muitas empresas do ramo já utilizam os equipamentos da Huawei nas redes LTE e imaginavam aproveitar estes equipamentos na preparação do 5G. Ao final de 2020, considerando o até então cenário de divisão do governo, o Brasil adiou o edital do leilão.

O edital do 5G somente foi aprovado e publicado pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) no final de setembro de 2021. Para a fabricante chinesa Huawei,

ficou determinada sua proibição na construção da rede privativa, que fornecerá conexão para os órgãos do governo. Ainda assim, a empresa poderá fornecer seus equipamentos para a rede comercial que garantirá o 5G à população brasileira.

5 O 5G APLICADO AO AGRONEGÓCIO

5.1 O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

O agronegócio consiste em um importante setor para a economia brasileira. No ano de 2020, o agronegócio participou de 26,1% do PIB brasileiro, alcançando recordes de volume e de receita com as exportações, com um aumento de 10% e 4%, respectivamente, em relação ao ano anterior. Mesmo diante da crise sanitária ocasionada pela Covid-19, o setor se mostrou resiliente e obteve um bom desempenho (MACHADO, 2021).

Este resultado positivo se deu devido às exportações. Isto por conta da alta dos preços internacionais dos commodities, dado o aumento da demanda mundial por alimentos, e da desvalorização do Real em relação ao dólar. Estes fatores tornaram mais valorizados os produtos agropecuários e seus preços, dados em dólar, mais competitivos.

Além disso, existe um grande desafio para o país no que se refere à garantia da segurança alimentar para a crescente população mundial. Isto porque, de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO/ ONU), estima-se que, até 2050, a agricultura mundial deverá aumentar em 80% a produção de alimentos, a fim de suprir a demanda de habitantes em todo o planeta (MERCHESE, 2021). E o Brasil seria responsável por metade dessa produção.

Ou seja, a escassez de alimentos e o crescimento populacional tornam-se grandes desafios no que concerne o desenvolvimento sustentável no Brasil e no mundo. Com isso, tecnologias como a Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e a internet móvel são importantes provedoras de soluções para resolver estes desafios. No presente projeto, a tecnologia 5G e a Internet das Coisas são apresentadas como ferramentas para impulsionar o Agronegócio.

5.2 AGRICULTURA INTELIGENTE

Existem diversos obstáculos que dificultam a produção agrícola, ocasionando queda de produtividade de safras. Dentre estes obstáculos, tem-se a salinidade do solo em condições áridas, e o clima, que afeta a qualidade e a quantidade das safras, podendo aumentar a sensibilidade do solo e levá-lo à desertificação. Portanto, é importante levantar recursos para utilização no desenvolvimento agrícola.

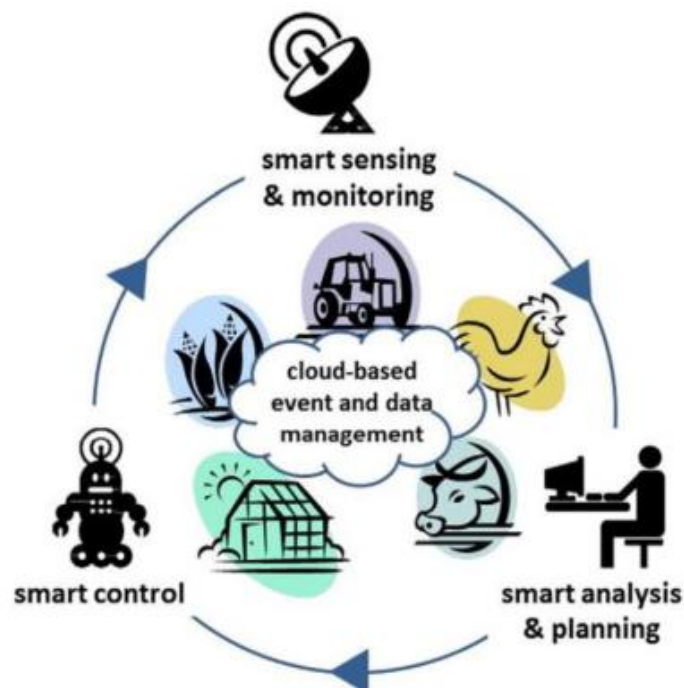
De acordo com Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO/ONU), o conceito de Agricultura Inteligente, também conhecida como *Smart Agriculture* ou *Smart Farming*, está relacionado à gestão que utiliza tecnologia moderna para aumentar a quantidade e qualidade dos produtos agrícolas (NUVENS, 2019).

Através da Agricultura Inteligente, é possível, por exemplo, monitorar as mudanças climáticas e as características do solo, bem como monitorar as necessidades dos animais da fazenda, a fim de regular sua alimentação e, assim, evitar doenças e auxiliar na boa saúde do rebanho. E é a tecnologia de Internet das Coisas que permite conectar diversos sensores remotos, como robôs, drones e sensores terrestres, uma vez que ela possibilita a conexão dos dispositivos com a internet para serem operados automaticamente.

De acordo com Abd-Elmabod *et al.* (2021), a Agricultura Inteligente é uma evolução da agricultura de precisão, inovando métodos inteligentes para alcançar a multifuncionalidade no que diz respeito ao gerenciamento de fazendas remotamente, suportado por alternativas de soluções adequadas de gerenciamento de fazendas em tempo real.

A Figura 16, apresentada abaixo, ilustra o ciclo da Agricultura Inteligente. O ciclo demonstra como é possível utilizar os robôs para realizar funções fundamentais para o controle do processo agrícola, bem como prever a análise e o planejamento automáticos, a fim de tornar o processo semiautônomo.

Figura 16 – Ciclo da Agricultura Inteligente



Fonte: Abd-Elmabod et al. (2021).

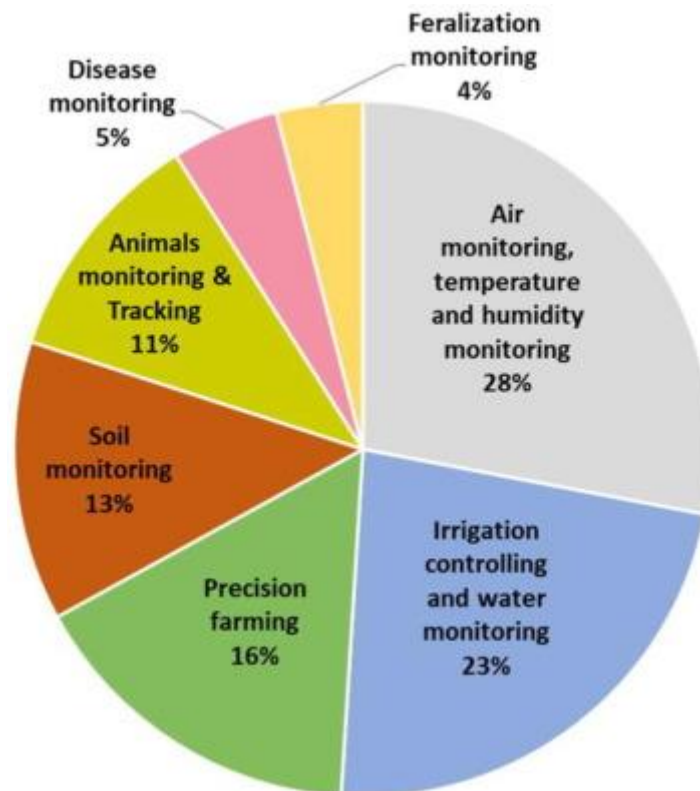
Ao mesmo tempo que houve uma grande expansão de métodos de coleta, processamento e análise de dados, houve também um vasto aumento no volume de dados utilizados no manejo agrícola. Com isso, houve-se também uma redução na capacidade da internet móvel 4G de conseguir conectar todos os elementos da rede em locais remotos.

As aplicações de IoT voltadas para a Agricultura Inteligente possuem diversas vantagens no que se refere aos processos e práticas agrícolas. Dentre estas vantagens, tem-se a melhora no manejo do gado, o controle da água e de outros recursos naturais, a análise precisa do solo e das safras, o controle do processo de fertilização, entre outros. Assim, é possível garantir uma melhora na qualidade da produção agrícola.

Portanto, a utilização do IoT na Agricultura Inteligente possibilita que infinitos dados úteis sejam coletados por sensores para os agricultores. E, assim, devido ao aumento no controle da produção, torna-se possível realizar uma melhor gestão dos custos e reduzir desperdícios.

A Figura 17 apresenta as principais aplicações de IoT na Agricultura Inteligente e suas porcentagens de utilização, de acordo com pesquisas de Farooq *et al* (2020 citado por ABD-ELMABOD *et al*, 2021) de 67 trabalhos de pesquisa publicados entre 2006 e 2019.

Figura 17 – Principais aplicações de IoT na Agricultura Inteligente



Fonte: Abd-Elmabod et al. (2021).

Conforme mostra a imagem, a maior porcentagem encontra-se voltada para as aplicações de monitoramento de ar, temperatura e umidade (28%). Também, 23% das aplicações são direcionadas para controle de irrigação e monitoramento da água; 16% para agricultura de precisão; 13% para monitoramento do solo; 11% para monitoramento e rastreamento de animais; 5% para monitoramento de doenças; e 4% para monitoramento de fertilização.

5.3 5G NA AGRICULTURA INTELIGENTE

A Agricultura Inteligente possui, como aspecto-chave, a necessidade de transmitir dados entre os dispositivos. Isto com o objetivo de utilizar grande parte dos dados a serem trocados e elaborados, bem como compartilhar estes dados detectados; executar comandos e controles; e realizar a comunicação em tempo real de alta velocidade entre os dispositivos que operam no mesmo terreno.

A fim de suprir esta necessidade, os padrões de comunicação podem ser utilizados no processo agrícola. Nos últimos anos, as tecnologias 3G, 4G e NB-IoT têm proporcionado uma velocidade adequada para transmissão de informações e para comunicação. Estas têm sido utilizadas para conectar dispositivos inteligentes por meio da Internet das Coisas e, com isso, compartilhar dados para a precisa avaliação do terreno agrícola.

Contudo, com o tempo e conforme anteriormente mencionado, houve-se também um crescimento na quantidade e na qualidade das informações. Com isso, a tecnologia 4G teve sua eficiência reduzida, dado que a transmissão de dados enfraqueceu. Portanto, espera-se que a quinta geração de redes móveis de comunicação forneça comunicação dispositivo a dispositivo (D2D) em tempo real, proporcionando uma velocidade muito alta a fim de transformar os dados em pouco tempo.

Em zonas rurais, o 5G pode proporcionar taxas de dados muito altas e conectividade para estas regiões onde há carência de cobertura. Assim, a tecnologia torna possível a implementação de mais práticas tecnológicas no campo, dado o modelo de conectividade em tempo real.

São muitas as vantagens de se utilizar o 5G em aplicações de IoT. Algumas delas são:

- Ampla cobertura;
- Alta capacidade de transferência de dados;
- Baixíssima latência;
- Melhoria da eficiência espectral;

- Alta eficiência de energia de toda a rede;
- Alta densidade de conexão em comparação com as tecnologias anteriores.

Desta forma, a tecnologia de quinta geração pode trazer ao agronegócio aplicações como:

- Drones para controle inteligente de pragas, bem como para a identificação e localização de incêndio nas áreas agrícolas;
- Sistemas de irrigação inteligentes e de monitoramento meteorológico interligados e que podem ser acompanhados em tempo real;
- Operação remota de tratores, colheitadeiras e demais máquinas autônomas, que possibilitam o desenho de rotas que evitam desperdício e aumentam, assim, o tempo produtivo. Além disso, tais veículos podem ser operados sob qualquer condição (dia e noite);
- Sensores conectados às plantas, ao solo e aos animais;
- Sistemas inteligentes de monitoramento de pragas;
- Sistemas de detecção, vigilância e segurança das fazendas, como sensores de detecção de movimento, cercas, sensores em portões e câmeras, a fim de prevenir alguns eventos como roubos e incêndios.

A Figura 18, abaixo, ilustra a utilização de drones para controle e prevenção de ervas daninhas através de Inteligência Artificial, e veículos autônomos que se encontram conectados à nuvem.

Figura 18 – Aplicações do 5G no Agronegócio



Fonte: AG Evolution (2020).

5.3.1 Projetos-piloto na aplicação do 5G para o Agronegócio no Brasil

Até o momento, alguns projetos-piloto de conectividade 5G estão sendo desenvolvidos, no Brasil, na área do Agronegócio, sendo alguns deles promovidos pelo próprio setor público, e outros entre parcerias privadas.

A seguir, serão apresentados alguns desses projetos, que visam promover a conectividade e a inovação no agronegócio, bem como apoiar a inclusão digital no campo.

5.3.1.1 Embrapa Soja, Londrina (PR)

Em Londrina (PR), em uma iniciativa liderada pelo Governo Federal, através do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e do Ministério das Comunicações (MCom), foi feita a instalação em área rural de uma antena de transmissão 5G. A fabricante de redes Nokia e a operadora Sercomtel foram escolhidas para dar suporte às demonstrações de conectividade, realizadas durante a Vitrine de Tecnologias da Embrapa Soja (BRASIL, 2021).

A Figura 19 apresenta imagem registrada do evento demonstrativo realizado no dia 12 de agosto de 2021, na Embrapa Soja.

Figura 19 – Evento demonstrativo do 5G na Embrapa Soja



Fonte: Embrapa (2021).

O projeto contou com a demonstração do chamado Gado Digital, que consiste no monitoramento do gado em tempo real com uma espécie de brinco colocado na orelha do gado e que permite, via internet, a rastreabilidade e o controle dos animais. Além disso, através de óculos de realidade mista (que mesclam a realidade virtual com a realidade aumentada) conectados à rede 5G, é possível que o criador acesse os dados do animal e faça ligações para a assistência veterinária remota, conforme exibido na Figura 20 abaixo.

Figura 20 – Demonstração do Gado Digital na Embrapa Soja



Fonte: Soja Radar da Tecnologia (2021).

Além do Gado Digital, outras demonstrações foram realizadas durante o evento, como é o caso do equipamento exibido na Figura 21, que possibilita a mecanização da liberação dos chamados macro parasitoides para controle do percevejo da soja. O equipamento fica acoplado aos pulverizadores já existentes, liberando cápsulas biodegradáveis contendo vespas, parasitoides de ovos de percevejo, e que fazem o controle dessa praga sem intervenção química. O uso da conexão 5G possibilita a criação de mapas de aplicação em tempo real. Cada cápsula lançada no campo pode ser lida, em tempo real, por um software, tornando possível o acompanhamento da qualidade da pulverização.

Figura 21 – Demonstração de equipamento para controle de percevejo na Embrapa Soja



Fonte: Soja Radar da Tecnologia (2021).

Espera-se que, nos anos seguintes, com a consolidação da tecnologia 5G no país e da conectividade no campo, mais aplicações sejam impulsionadas.

5.3.1.2 Fazenda do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), Rondonópolis (MT)

O primeiro projeto-piloto do 5G Standalone (SA) para o Agronegócio no Brasil foi realizado em 11 de maio de 2021, em Rondonópolis (MT), em uma fazenda do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt). O projeto foi lançado em uma parceria entre a TIM, a Nokia e a Associação Matogrossense dos Produtores de Algodão (AMPA), com o apoio do ConectarAgro, associação que promove o uso de tecnologias abertas em áreas rurais (TELE.SÍNTESE, 2021).

O projeto-piloto contou com a instalação da primeira antena 5G em área rural e, dentre as demonstrações, foram disponibilizadas transmissões de vídeo em 4K, em tempo real, de drones. Estas imagens acompanhadas remotamente podem contribuir na inspeção de toda a plantação de algodão. A Figura 22, abaixo, foi captada no dia do evento, que contou com a participação do ministro das Comunicações, Fábio Faria, e da ministra da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Tereza Cristina. Já a Figura 23 apresenta a demonstração realizada com o uso de drone.

Figura 22 - Evento demonstrativo do 5G na fazenda do IMAmt



Fonte: Sedec MT (2021).

Figura 23 – Demonstração do uso de drone e antena 5G na fazenda do IMAmt



Fonte: Antonio (2021).

5.3.1.3 Usina São Martinho, Pradópolis (SP)

A fornecedora de equipamentos Ericsson, em parceria com a operadora Vivo, firmou acordo com o grupo sucroenergético São Martinho S.A para a viabilização de cobertura 5G em todas as operações da Usina São Martinho, localizada em Pradópolis (SP). O objetivo da parceria é aumentar a velocidade das redes móveis nas usinas de processamento de cana da empresa, melhorando a eficiência dos processos agroindustriais e aumentando a produtividade (AMARAL, 2021).

O projeto já conta com um drone 100% brasileiro conectado à tecnologia 5G para missões do agronegócio nacional. O drone NAURU 500C (Figura 24), da fabricante XMobots, permite um mapeamento de alta precisão em toda região, com transmissão de vídeo e controle em tempo real. A baixa latência e a alta velocidade de dados proporcionadas pelo 5G possibilitam que a câmera embarcada no drone possa realizar, com imagens em alta definição, *live streaming* em tempo real da região. Na Usina São Martinho, o drone examina as regiões de plantio, atuando no controle inteligente de pragas, na identificação de focos de incêndio e na detecção de plantas daninhas.

Figura 24 – Drone NAURU 500C



Fonte: Basseto (2021).

A fim de evitar a construção de torres de transmissão no local e, conseqüentemente, a utilização de fibra óptica que pode ser rompida por alguma máquina no campo, o projeto utilizou a solução Microwave Ericsson MINI-LINK. Esta solução permite a interligação para áreas remotas estratégicas por meio de micro-ondas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia 5G surge para revolucionar as comunicações móveis e oferecer requisitos de rede que permitirão não somente o aprimoramento da banda larga móvel, como também a atuação em novas funcionalidades ainda não exploradas. Através de características como alta confiabilidade, baixíssima latência, maior velocidade de dados e economia de energia da rede, a tecnologia 5G é capaz de suprir as necessidades de um mundo totalmente interconectado. Dado o aumento esperado de dispositivos conectados à internet e, principalmente, de conexões IoT, foco deste estudo, é possível compreender a grande relevância da tecnologia de quinta geração.

Conforme os objetivos definidos e apresentados anteriormente, o presente estudo introduziu uma série de conceitos relacionados às redes de comunicações móveis, principalmente no que se refere às tecnologias precedentes ao 5G e às características, casos de uso e aplicações das redes de quinta geração. Além disso, foram detalhadas as arquiteturas *Standalone* e *Non-Standalone* das redes 5G, bem como a arquitetura do *core* 5GC. Com o estudo, foi possível também entender o panorama do uso desta nova tecnologia no Brasil e no mundo e quais são os principais desafios encontrados para a implantação do 5G no Brasil, sendo a guerra política entre Estados Unidos e China um dos grandes fomentadores para o atraso na chegada da tecnologia no país, bem como a situação pandêmica da Covid-19 e outros fatores mais.

O estudo também explanou a importância da tecnologia 5G no setor do Agronegócio. Este setor, até então pouco explorado tecnologicamente, possui um grande potencial de aplicabilidade com a chegada da tecnologia 5G. Com o 5G, tornam-se possíveis aplicações como veículos autônomos (tratores, colheitadeiras e outras máquinas), drones para análise do solo, mapeamento da terra e para aplicação de defensivos agrícolas, sensores para monitoramento do gado, e muitos outros. No Brasil, já foram realizados alguns projetos-piloto do uso do 5G para o Agronegócio, que demonstraram algumas das possíveis práticas do uso da tecnologia no campo, como o chamado Gado Digital. Outros projetos ainda estão em desenvolvimento, como é o caso da parceria entre a empresa de telecomunicações Ericsson e a Usina São Martinho.

A análise do estudo permite, portanto, concluir que o 5G já é uma realidade e, apesar dos desafios encontrados para sua implantação e consolidação no Brasil, o país vem caminhando positivamente para que a tecnologia passe a operar plenamente. A tecnologia

reforça ainda que a transformação digital é o caminho a ser seguido em toda a sociedade e que fará parte de tudo o que rodeia a humanidade.

Os instrumentos de coleta de dados foram de grande importância e muito contribuíram para o desenvolvimento deste estudo. Estão disponíveis na internet uma série de artigos sobre o 5G, suas tecnologias habilitadoras (*small cell*, ondas milimétricas, fatiamento de rede, *Massive MIMO*, *Beamforming*) e possíveis aplicações. Em pesquisas futuras, acredita-se que será muito mais fácil de abordar as aplicações de IoT utilizando a quinta geração de redes móveis, visto que a implantação da tecnologia estará a um passo mais avançado no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

3GPP. **About 3GPP**. France: 3GPP Mobile Competence Centre, [c2021]. Disponível em: <https://www.3gpp.org/about-3gpp>. Acesso em: 11 jun. 2021.

3GPP. **LTE**. France: 3GPP Mobile Competence Centre, [c2021]. Disponível em: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. Acesso em: 20 ago. 2021.

5G LEARNING. **Evolution of Mobile generation from 1G to 6G**. Jan. 2021. Disponível em: <https://5glearning.org/evolution-of-mobile-generation-from-1g-to-6g/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ABD-ALHAMEED, Raed *et al.* 60 GHz Multi-Sector Antenna Array with Switchable Radiation-Beams for Small Cell 5G Networks. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 14, n. 2, p. 50-54, fev. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Small-cell-network-for-5G-communications_fig1_339336252. Acesso em: 09 jan. 2022.

ABD-ELMABOD, Sameh K. *et al.* Smart farming for improving agricultural management. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, pt. 2, v. 24, n. 3, p. 971-981, dez. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982321000582>. Acesso em: 03 fev. 2022.

ABRÃO, Rafael A. F.; SOUSA, Ana T. L. M.; SANTOS, Vitor H. Entre a subserviência e o pragmatismo: o Brasil perante o 5G. **OIKOS**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 71-92, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/378MLJs>. Acesso em: 05 jan. 2022.

AG EVOLUTION. **5G rural faz estreia no Brasil por Rio Verde em Goiás**. Dez. 2020. Disponível em: <https://agevolution.canalrural.com.br/5g-rural-faz-estrela-no-brasil-por-rio-verde-em-goias/>. Acesso em 17 fev. 2022.

AGRAWAL, Jyotsna *et al.* Evolution of mobile communication network: from 1G to 4G. **International Journal of Multidisciplinary and Current Research**, v. 3, p. 1100-1103, 2015. Disponível em: <http://ijmcr.com/wp-content/uploads/2015/11/Paper11100-11031.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2021.

AMARAL, Bruno. Ericsson e Vivo utilizam 5G para conectividade na Usina São Martinho. **Teletime**, jul. 2021. Disponível em: <https://teletime.com.br/29/07/2021/ericsson-e-vivo-utilizam-5g-para-conectividade-na-usina-sao-martinho/>. Acesso em: 18 fev. 2022.

ANTONIO, Jurandir. Ministros inauguram em Rondonópolis antena do projeto piloto de implantação da tecnologia 5G. **Sapicua Comunicação**, maio 2021. Disponível em: <https://www.sapicua.com.br/ministros-inauguram-em-rondonopolis-antena-do-projeto-piloto-de-implantacao-da-tecnologia-5g>. Acesso em: 18 fev. 2022.

AZAR, Yaniv *et al.* Millimeter wave mobile communications for 5G Cellular: It Will Work! **IEEE Access**, v. 1, p. 335-349, maio 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6515173>. Acesso em: 10 jan. 2022.

BASSETO, Murilo. Brasil tem primeiro drone 100% conectado à tecnologia 5G. **AeroIN**, out. 2021. Disponível em: <https://aeroin.net/brasil-tem-primeiro-drone-100-conectado-a-tecnologia-5g/>. Acesso em: 18 fev. 2022.

BRAGA, Bruno. Entenda a diferença entre 3G, LTE, 4G, 4G+, 4,5G e 5G. **Tecnoblog**, 2018. Disponível em: <https://tecnoblog.net/236506/diferenca-internet-celular-lte-4g-4gmais-5g/>. Acesso em: 02 set. 2021.

BRASIL. Governo do Brasil. **Londrina tem demonstração do potencial do uso da internet 5G no agronegócio**. Ago. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/08/londrina-tem-demonstracao-do-potencial-do-uso-da-internet-5g-no-agronegocio>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BROWN, Gabriel. Service-based architecture for 5G core networks. **Heavy Reading**, nov. 2017. Disponível em: https://www.3g4g.co.uk/5G/5Gtech_6004_2017_11_Service-Based-Architecture-for-5G-Core-Networks_HR_Huawei.pdf. Acesso em: 17 jan. 2022.

CHEN, Zhuo *et al.* 5G Deployment: Standalone vs. Non-Standalone from the operator perspective. **IEEE Communications Magazine**, v. 58, n. 11, p. 83-89, nov. 2020. Disponível em: <https://www.telesintese.com.br/wp-content/uploads/2021/02/estudo-ieee.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

CONNIQ. **Introduction to Multiple Antenna Systems: SIMO, MISO, MIMO**. c2005-2012. Disponível em: <http://www.conniq.com/WiMAX/mimo-02.htm>. Acesso em: 11 jan. 2022.

DAHLMAN, Erik; PARKVALL, Stefan; SKÖLD, Johan. **5G NR: the next generation wireless access technology**. 2. ed. Academic Press, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3sYplQd>. Acesso em 27 dez. 2021.

DELOITTE. **Relatório do ecossistema 5G Brasil: produto 1 – Benchmarking Internacional**. Out. 2021. Disponível em: <https://teletime.com.br/wp-content/uploads/2021/10/ONU-5BR-Produto-1-Benchmarking-Internacional-v3.0.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

DEMONSTRAÇÃO do projeto piloto da tecnologia 5G na Embrapa soja. Londrina, 2021. 1 vídeo (1:12:19 h). Publicado pelo canal Soja Radar da Tecnologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AhGIKsCwzPE>. Acesso em: 16 fev. 2022.

EMBRAPA. **MCom demonstra potencial do 5G para o agronegócio em Londrina (PR)**. Ago. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64126096/mcom-demonstra-potencial-do-5g-para-o-agronegocio-em-londrina-pr>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report**. Nov. 2020. Disponível em: <https://www.ericsson.com/4adc87/assets/local/mobility-report/documents/2020/november-2020-ericsson-mobility-report.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ERICSSON. **Ericsson Mobility Report**. Nov. 2021. Disponível em: <https://www.ericsson.com/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2021/ericsson-mobility-report-november-2021.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2021.

ERICSSON. **Understanding the opportunities for operators in healthcare**. c2021. Disponível em: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/5g-healthcare>. Acesso em: 23 set. 2021.

EVERYTHING You need to know about 5G. Produção: Kristen Clark, Celia Gorman, Amy Nordrum. [S.l: s.n], 2017. 1 vídeo (6:14 min). Publicado pelo canal IEEE Spectrum. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=GEx_d0SjvS0. Acesso em: 07 jan. 2022.

GAZDA, Juraj *et al.* Deep learning based massive MIMO beamforming for 5G mobile network. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIRELESS SYSTEMS WITHIN THE INTERNATIONAL CONFERENCES ON INTELLIGENT DATA ACQUISITION AND ADVANCED COMPUTING SYSTEMS (IDAACS-SWS), 4., 2018, Lviv. **Proceedings** [...]. New Jersey: IEEE, 2018. p. 241-244. Disponível em: <https://bit.ly/3fhCtYp>. Acesso em: 11 jan. 2022.

GHOSH, Amitabha *et al.* 5G Evolution: a view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15. **IEEE Access**, v. 7, p. 127639-127651, set. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8826541>. Acesso em: 24 ago. 2021.

IQBAL, Amjad *et al.* Millimeter-wave in the face of 5G communication potential applications. **IETE Journal of Research**, jan. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3tHtn2>. Acesso em: 10 jan. 2022.

JULIÃO, Henrique. 5G standalone e non-standalone: fornecedoras explicam principais diferenças. **Teletime**, jan. 2021. Disponível em: <https://teletime.com.br/15/01/2021/5g-standalone-e-non-standalone-fornecedoras-explicam-principais-diferencas/>. Acesso em: 14 jan. 2022.

KANAMARU, Márcio. Os desafios da implementação da tecnologia 5G. **Teletime**, jul. 2021. Disponível em: <https://teletime.com.br/23/07/2021/os-desafios-da-implementacao-da-tecnologia-5g/>. Acesso em: 05 jan. 2022.

KIM, Younsun *et al.* New Radio (NR) and its evolution toward 5G-advanced. **IEEE Wireless Communications**, v. 26, n. 3, p. 2-7, jun. 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8752473>. Acesso em: 09 jun. 2021.

LIYANAGE, Madhusanka; WIJETHILAKA, Shalitha. Survey on network slicing for internet of things realization in 5G networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 23, n. 2, p. 957-994, mar. 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9382385>. Acesso em: 30 dez. 2021.

MACHADO, Gabriel C. Agronegócio brasileiro: importância e complexidade do setor. **CEPEA**, jun. 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao->

cepea/agronegocio-brasileiro-importancia-e-complexidade-do-setor.aspx. Acesso em: 27 jan. 2022.

MERCHESE, Vinicius. O impacto do 5G no agronegócio brasileiro. **Revista Globo Rural**, jul. 2021. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Opiniao/Vozes-do-Agro/noticia/2021/07/o-impacto-do-5g-no-agronegocio-brasileiro.html>. Acesso em: 27 jan. 2022.

NUVENS, Eduardo. Redes 5G e o avanço da agricultura inteligente. **Olhar Digital**, abr. 2019. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2019/04/15/noticias/redes-5g-e-o-avanco-da-agricultura-inteligente/>. Acesso em: 03 fev. 2022.

PORTAL 5G. **Cidades inteligentes**. c2020. Disponível em: <https://portal5g.pt/temas/cidades-inteligentes/>. Acesso em: 23 set. 2021.

PROJETO-piloto de conectividade 5G em Londrina. Londrina, 2021. 1 vídeo (6:19 min). Publicado pelo canal Soja Radar da Tecnologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=D5kDh0NJSa0>. Acesso em: 18 fev. 2022.

QUALCOMM. **With 5G here, what's next for the Internet of Things?** Maio 2020. Disponível em: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2020/05/12/5g-here-whats-next-internet-things>. Acesso em: 03 ago. 2021.

RANGO, Floriano *et al.* Smart Antenna Systems Model Simulation Design for 5G Wireless Network Systems. **IntechOpen**, London, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Massive-MIMO-operation-principle_fig1_330952838. Acesso em: 11 jan. 2022.

RODRIGUES, Eduardo J. B. **Um estudo do aumento da capacidade de sistemas 3G WCDMA usando técnicas 3.5G de expansão do enlace reverso**. Orientador: Laércio Martins de Mendonça. 2005. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15398>. Acesso em: 03 set. 2021.

ROSA, Larissa de S. P. *et al.* **Aplicações do 5G em Internet das Coisas (IoT)**. Orientador: Daniel Andrade Nunes. TCC (Bacharel em Engenharia Elétrica / Engenharia de Telecomunicações) – Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, jun. 2017.

SEDEC MT. Governo Federal. **Projeto de conectividade com tecnologia 5G em área rural é iniciado em Mato Grosso**. Maio 2021. Disponível em: <http://www.sedec.mt.gov.br/-/17065503-projeto-de-conectividade-com-tecnologia-5g-em-area-rural-e-iniciado-em-mato-grosso>. Acesso em: 18 fev. 2022.

SOCIEDADE 5G. **Agronegócio**. c2021. Disponível em: <https://sociedade5g.com.br/agronegocio/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

SOCIEDADE 5G. **Diferenças entre as redes 1G, 2G, 3G, 4G e 5G**. c2021. Disponível em: <https://sociedade5g.com.br/quais-sao-as-diferencas-entre-redes-1g-2g-3g-4g-e-5g-2/>. Acesso em: 02 jul. 2021.

SPADINGER, Robert. **Nota técnica nº 79: implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e Indústria 4.0.** Ipea, jan. 2021. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10419/1/NT_79_Diset_ImplementacaoTecnologia5G_Industria4.0.pdf. Acesso em: 06 out. 2021.

TELECO. **LTE: evolução das redes móveis.** c2021. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_2.asp. Acesso em: 06 ago. 2021.

TELECO. **Redes 3G e 4G: características do LTE.** c2021. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialev4g/pagina_4.asp. Acesso em: 20 ago. 2021.

TELE.SÍNTESE. **TIM e Nokia lançam 1º piloto 5G standalone agro do país.** Maio 2021. Disponível em: <https://www.telesintese.com.br/tim-e-nokia-lancam-1o-piloto-5g-standalone-agro-do-pais/>. Acesso em: 18 fev. 2022.

TERAL, Stephane. 5G best choice architecture. **IHS Markit Technology**, jan. 2019. Disponível em: <https://www.redestelecom.es/siteresources/files/894/48.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2022.

THALES GROUP. **O que é a tecnologia 5G? Quais suas características e usos (2020).** c2021. Disponível em: <https://www.thalesgroup.com/pt-pt/countries/americas/thales-brazil/dis/mobile/inspire-se/5g>. Acesso em: 17 jul. 2021.

VIAVI SOLUTIONS. **The State of 5G.** Jun 2021. Disponível em: <https://www.viavisolutions.com/pt-br/literature/state-5g-june-2021-posters-en.pdf>. Acesso em: 27 de set. 2021.

VORA, Lopa J. Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G. **International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER)**, v. 2, n. 10, p. 281-290, out. 2015. Disponível em: <http://www.danspela.com/pdf/p113.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

ZHAO, Long *et al.* Massive MIMO in 5G networks: selected applications. **Springer International Publishing**, 2018. Disponível em: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/36068/1/31.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2022.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALIGER. **IoT na agricultura: como ela está revolucionando o setor?** Jan. 2021. Disponível em: <https://www.aliger.com.br/blog/iot-na-agricultura-como-ela-esta-revolucionando-o-setor/>. Acesso em: 06 fev. 2022.
- ALMEIDA, Marco A. F. LTE: Conceitos de transmissão e recepção. **Teleco**, nov. 2013. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_3.asp. Acesso em: 11 jan. 2022.
- AKAMAI. **O que é um ataque de DDoS?** c2021. Disponível em: <https://bit.ly/3eJboNp>. Acesso em: 02 jan. 2022.
- BACCO, Manlio *et al.* Smart farming: opportunities, challenges and technology enablers. **2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany)**, p. 1-6, 2018. Disponível em: https://openportal.isti.cnr.it/data/2018/386730/2018_386730.preprint.pdf. Acesso em: 08 fev. 2022.
- BRASIL. Governo do Brasil. **Anatel aprova edital do leilão do 5G, internet móvel mais rápida, econômica e segura.** Set. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/09/anatel-aprova-edital-do-leilao-do-5g-internet-movel-mais-rapida-economica-e-segura>. Acesso em: 28 set. 2021
- CONVERGÊNCIA DIGITAL. **Brasil fabrica drone 5G para o agronegócio.** Out. 2021. Disponível em: <https://www.convergenciadigital.com.br/Internet-Movel/Brasil-fabrica-drone-5G-para-o-agronegocio-58469.html?UserActiveTemplate=mobile>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- DAVID, Rodrigo P. Sistemas 5G. **Intra Rede.** Disponível em: https://intrarede.nic.br/files/apresentacao/arquivo/1088/apresentacao_5G_rodrigo_v2.pdf. Acesso em: 03 set. 2021.
- DOGRA, Anutusha; JHA, Rakesh K.; JAIN, Shubha. A survey on beyond 5G network with the advent of 6G: architecture and emerging technologies. **IEEE Access**, v. 9, p. 67512-67547, out. 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9224777>. Acesso em: 13 set. 2021.
- DRYJANSKI, Marcin. 5G Core network – architecture, network functions, and interworking. **RF Globalnet**, jul. 2019. Disponível em: <https://www.rfglobalnet.com/doc/g-core-network-architecture-network-functions-and-interworking-0001>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- EMBRAPA. **Embrapa é parceira em projeto-piloto de conectividade 5G para o agronegócio.** Ago. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64133671/embrapa-e-parceira-em-projeto-piloto-de-conectividade-5g-para-o-agronegocio>. Acesso em: 15 fev. 2022.

FIA. **Internet 5G**: o que é, características e cobertura. Jul. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/internet-5g/>. Acesso em: 24 ago. 2021.

G1. **5G**: entenda a briga entre Estados Unidos e China. Nov. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2021/11/05/5g-entenda-a-briga-entre-estados-unidos-e-china.ghtml>. Acesso em: 20 dez. 2021.

GOMES JÚNIOR, Francisco. Os desafios para o 5G no Brasil. **Migalhas**, jun 2020. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/328743/os-desafios-para-o-5g-no-brasil>. Acesso em: 29 nov. 2021.

KANAMARU, Márcio. Os desafios da implementação da tecnologia 5G. **Teletime**, jul. 2021. Disponível em: <https://teletime.com.br/23/07/2021/os-desafios-da-implementacao-da-tecnologia-5g/>. Acesso em 22 dez. 2021.

KOVACS, Leandro. O que é uma small cell? [Antena de celular]. **Tecnoblog**, 2020. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-uma-small-cell-antena-de-celular/>. Acesso em: 09 jan. 2022.

LIMA, João C. C. **Garantia de Qos no núcleo da rede móvel celular de quinta geração utilizando redes definidas por software**. Orientador: Emanuel Bezerra Rodrigues. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58628/3/2019_dis_jcclima.pdf. Acesso em: 17 jan. 2022.

MIRAGAIA, Marília. Rede 5G requer mais infraestrutura, mas traz maior eficiência. **Folha de São Paulo**, nov. 2021. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2021/11/rede-5g-requer-mais-infraestrutura-mas-traz-maior-eficiencia.shtml>. Acesso em: 05 jan. 2021.

MOGNON, Mateus. Leilão do 5G acontece em 4 de novembro; saiba detalhes do edital. **Tecmundo**, set. 2021. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mercado/225637-leilao-5g-acontece-4-novembro-saiba-detalhes-do-edital.htm>. Acesso em: 22 dez. 2021.

MONITOR MERCANTIL. **Gargalos da infraestrutura de conexão no país são desafios para o 5G**. Nov. 2021. Disponível em: <https://monitormercantil.com.br/gargalos-da-infraestrutura-de-conexao-no-pais-sao-desafios-para-o-5g/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

NEVES, Mateus A. T. **Internet das coisas (IoT)**: introdução e visão geral de aplicações. Orientador: José Simão de Paula Pinto. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Gestão da Informação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/70452/Mateus%20Aparecido%20Tonin%20Neves.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 set. 2021.

PODE COMPARAR. **5G**: qual a diferença entre 4G e 5G? latência e velocidade. Set. 2020. Disponível em: <https://podecomparar.com.br/telecom/blog/conexao/diferenca-4g-5g-latencia-velocidade>. Acesso em: 24 ago. 2021.

REPLY. **Entendendo as frequências de bandas do espectro 5G.** c2021. Disponível em: <https://www.reply.com/br/industries/telco-and-media/understanding-5g-spectrum-frequency-bands>. Acesso em: 29 dez. 2021.

SATHYANARAYAN, Seshadri. Standalone (SA) and Non-Standalone (NSA) 5G architectures: the various paths to 5G revenues and profitability. **Affirmed Networks**, dez. 2020. Disponível em: <https://www.affirmednetworks.com/sa-and-nsa-5g-architectures-the-path-to-profitability/>. Acesso em: 14 jan. 2022.

SOCIEDADE 5G. **Agronegócio viverá nova era com a chegada do 5G.** c2021. Disponível em: <https://sociedade5g.com.br/agronegocio-vivera-nova-era-com-a-chegada-do-5g/>. Acesso em: 17 fev. 2022.

TELECO. **4G:** tecnologias de celular. Set. 2017. Disponível em: https://www.teleco.com.br/4g_tecnologia.asp. Acesso em: 03 set. 2021.

TELECO. **5G:** tecnologias de celular. Jul. 2020. Disponível em: https://www.teleco.com.br/5g_tecnologia.asp. Acesso em: 24 ago. 2021.

UFSC LABCOM. **Introdução ao 5G Core.** Abr. 2021. Disponível em: <https://labcom.ufsc.br/2021/04/24/introducao-ao-5g-core/>. Acesso em: 17 jan. 2022.