

Redes Móveis: Evolução para 5G*

Diogo Rebelo^{1[93278]}, Gonçalo Freitas^{2[93297]}, and Hugo Brando^{3[93287]}

^{1,2,3} Estudantes do 3^o Ano de Licenciatura em Engenharia Informática.
Universidade do Minho, Braga, Portugal
{a93278 | a93297 | a93287}@alunos.uminho.pt

Resumo: A próxima gerao de rede sem fios (5G), uma evoluo da tecnologia 4G, expande a evoluo da *internet* móvel para o conceito de IoT (*Internet of Things*) massiva [15]. Do 4G para o 5G, há uma alterao principalmente a nível de velocidade, frequência de banda, latência, cobertura, largura de banda e disponibilidade. Não obstante o conjunto de problemas de performance da tecnologia 5G, esta gerao vem resolver a cobertura, qualidade, flexibilidade e conectividade pobres do serviço 4G. Neste âmbito, este estudo depara-se com a evoluo das redes móveis para a tecnologia de próxima gerao, através de uma análise mais completa da comunicao sem fios entre dispositivos móveis, sempre com vista ao seu melhoramento.

O 5G está a ser desenvolvido para providenciar conectividade incomparável entre todos e em todos os lugares, apresentando várias versões com áreas de foco diferentes, quer a nível operacional, quer a nível de aplicabilidade em novos mercados e casos de uso [8].

Palavras-Chave: Redes de Computadores, Evoluo de Redes Móveis, Tecnologia 5G, Conectividade Móvel, Largura de Banda, Redes Celulares, IoT Industrial, 3GPP, Comunicaes Confiáveis de Baixa Latência, Dispositivos Móveis, Requisitos 5G, ITU e LTE.

1 Introduo

O presente estudo pretende detalhar e diferenciar a variedade de tecnologias de rede móvel existente, incidindo com força sobre a nova gerao e a sua contextualizao e integrao no mundo atual. Depara-se sobre a problemática da implementao do 5G, perante um conjunto de requisitos, cuja compreensão requer ter presente conceitos estruturais, elucidados posteriormente.

1.1 Evoluo Celular da Arquitetura 5G

A primeira versão do Sistema 5G, focada nos serviços móveis de banda larga, (*Release 15*) incorpora o 5GC e o 5G *New Radio* com o 5G UE, especificados pela 3GPP. A versão seguinte, (*Release 16*), prende-se com a criao de ferramentas para Comunicaes Ultra-Confiáveis de Baixa Latência e o conceito de IoT Industrial, havendo aprimoramentos em relao a TSC, suporte para NPNs

* Apoiado pela Universidade do Minho.

e funcionalidades para o MIMO massivo (serviço de arquitetura base). Por fim, espera-se um aumento drástico dos casos de uso e tipos de conectividade, aumentando, com estes, as intrusões a nível de segurança, um aspeto igualmente focado nas últimas versões. [8]



Figura 1: Análise comparativa das versões Rel-[15,16,17] [8]

1.2 IEEE & 3GPP & 3GPP2

IEEE é a maior organização técnica profissional do mundo, composta por engenheiros, cientistas e profissionais aliados e tem como objetivo e propósito o avanço tecnológico para benefício da humanidade e a fomentação de inovação tecnológica e excelência. Tanto a 3GPP como a 3GPP2 são organizações do mesmo género, tendo como um dos papéis supervisionar padrões *wireless*.

Em meados de 2000, começou-se a tornar claro que as redes 3G seriam ultrapassadas pela necessidade de acesso mais rápido à *Internet*, assim começou-se a trabalhar nos padrões 4G. Deste modo, estas três organizações começaram a desenvolver potenciais soluções para os problemas observados. Daqui o LTE, criado pela 3GPP, tornou-se o padrão global para o 4G. E isso trouxe-nos ao 5G, desenvolvido unicamente pela 3GPP. [6]

1.3 LTE

Este padrão, também chamado de 4G LTE, é descrito como a evolução da tecnologia 3G, possuindo maior capacidade e velocidade de rede para dispositivos móveis.

LTE oferece aos utilizadores diversas funcionalidades, tais como:

- Streaming de som e vídeo, com uma média de download de 17 Mbps e de upload de 12 Mbps.
- Conexão em tempo real a serviços, utilizadores podem falar entre eles sem experienciar lag ou jitter.

Apesar do nome pelo qual esta tecnologia é identificada, o mais correto seria tratá-la como "3.9G", pois apenas a sua sucessora (LTE-A) cumpria os requisitos para ser tratada como 4G. [9]

Em todo o caso, 4G LTE continua a ser o padrão mundial para redes móveis e não deve ser substituído por 5G por pelo menos uma década, permanecendo utilizável durante muitos mais anos após isso. [7]

2 Diferenças entre 5G e as outras frequências

De modo a representar as principais diferenças, nada melhor que um exemplo prático, simples e que se enquadra no dia a dia de qualquer pessoa. Com uma frequência 3G, um download de um filme poderia demorar uma ou mais horas, enquanto que o 5G levaria minutos, sendo evidente a superioridade desta mais recente frequência.

Como podemos verificar na seguinte imagem, houve uma grande evolução ao longo das diferentes gerações de rede *Wireless*, sendo notório um aumento exponencial da largura de banda.

Geração	Velocidade Teórica	Tecnologia	Funcionalidades
2G	9.6/14.4 Kbps	TDMA, CDMA	Fazer chamadas e transferir informação
3G	3.1 Mbps	CDMA 2000 (1XRTT, EVDO, UMST, EDGE)	<i>Browsing</i> rápido num dispositivo móvel e pavimentou o caminho para conferências de vídeo e <i>streaming</i>
3.5G	14.4 Mbps	HSPA	Tempo de transferência mais rápido
4G	100 - 300 Mbps	WiMax LTE	Velocidades de download incrivelmente rápidas, pavimentou o caminho para <i>streaming</i> HD
5G	10 - 30 Gbps	A ser desenvolvida	<i>Internet</i> ultra rápida, baixa latência e maior confiabilidade

Tabela 1: Diferentes características das diferentes frequências. [1]

Se recuarmos até 1991, quando foi criado o 2G, depois de um grande sucesso nas redes móveis com a invenção do 1G, já é notória a grande evolução para a altura em questão. Passou a ser possível realizar chamadas encriptadas (não permitia a entrada de terceiros em chamadas), aumentaram a qualidade do som e para além disso a velocidade de download era significamente superior à versão anterior, sendo na altura cerca de 64 Kbps que comparado com o 5G é cerca de 20000 vezes mais lento.

10 anos depois foi criada a frequência 3G que era cerca de 4 vezes mais rápida que a frequência anterior, sendo assim possível o streaming de vídeo e as vídeo-chamadas realizada por exemplo no *Skype*.

Sendo em 2009 que foi criada a famosa 4G, que até à existência do 5G foi, durante anos, a melhor e mais rápida frequência, conseguindo providenciar um acesso rápido à *Internet*, a vídeos em HD e aos jogos online. [5] [3]

3 Requisitos 5G e Evolução LTE

A tecnologia 5G herda o LTE-A, reunindo um conjunto de requisitos em termos de capacidade. A sua aplicabilidade no mundo real está dependente da adaptação da interface aérea (RAT) para a concretização dos vários serviços a que se propõe, isso, servindo um número massivo de utilizadores simultaneamente. Neste contexto, a ITU [14] define 3 casos de uso indispensáveis:

1. *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) - e.g. *Smartphones*;
2. *Ultra-reliable and low latency communications* - e.g. carro de condução automática;
3. *Massive MTC*- e.g. for para nodos sensoriais massivos.

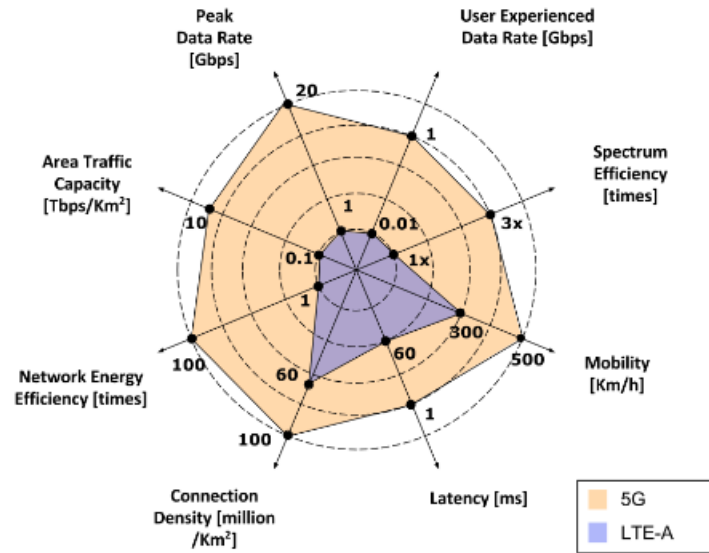


Figura 2: Requisitos Primordiais do 5G, de acordo com a ITU [14]

3.1 Enhanced Mobile Broadband - eMBB

A procura por taxas de dados mais altas forçou o 3GPP a projetar o eMBB que possibilita a transmissão de conteúdo de ultra-alta definição pelo ar, através de um 5G baseado numa rede muito densa de pequenas células, usando as atuais RATs. Este aprimoramento socorre-se dos conceitos que surgem de seguida.

Redes celulares altamente densas A arquitetura 5G baseia-se nestas células, com menos de 200 metros, que permitem flexibilidade e facilidade de implantação, já que os produtos que destas resultam são mais compactos e, portanto, mais otimizáveis [14]. Em adição, o posicionamento ideal do ponto de acesso melhora a experiência do utilizador. Neste cenário (UDCSNet), existem várias células pequenas em base (SBSs) conectadas a uma macro-célula (MBS) e ambas conectadas a uma BBU *pool*, uma espécie de base localizada num sítio centralizado que funciona como uma nuvem ou centro de dados. Os seus vários nós alocam dinamicamente recursos para RRUs (uma rede que conecta dispositivos sem fio de forma semelhante a pontos de acesso), com base nas necessidades da rede heterogénea (HetNet). RRUs e BBUs estão conectados por *fronthaul links*, uma comunicação de fibra óptica, celular ou de onda milimétrica (mmWave), fornecendo ligações de alta largura de banda para lidar com os requisitos de várias RRUs. Em termos de infraestruturas, RRHs podem ser implantados, por exemplo, em cada andar de um edifício ou em *hotspots* para fornecer melhor capacidade e cobertura.

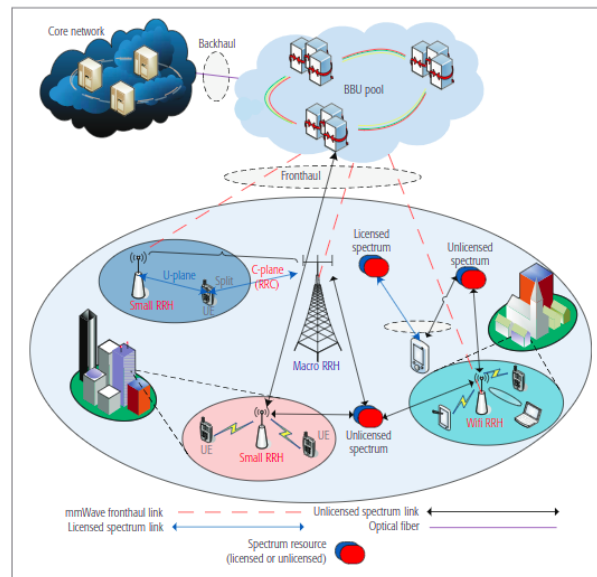


Figura 3: Arquitetura da rede 5G, UDCSNet [16]

Massive MIMO & Beamforming MIMO é uma técnica de múltiplas entradas e múltiplas saídas com antenas múltiplas no transmissor e recetor. Tem um processamento digital complexo que configura vários fluxos de dados num mesmo canal [11], multiplicando a taxa de transferência (e, portanto, a eficiência espectral). O *Beamforming* direciona os sinais de rádio diretamente para os UEs conectados à célula, focando essa energia para melhorar o desempenho e a eficiência energética [14], o que se traduz num aumento da intensidade do sinal e numa diminuição da interferência.

3.2 Ultra-Reliable and low latency communications

Enhanced Carrier Aggregation O conceito resume-se a um esquema de canal que combina até 20 canais de diferentes espectros num único fluxo de dados [11], já presente no 4G. Nesta técnica, são atribuídos vários blocos de frequências (componentes) ao mesmo utilizador [10]. A taxa de dados máxima possível por utilizador é tanto maior quanto o número de blocos de frequência atribuídos ao mesmo. Sendo assim, podemos afirmar que é uma técnica que aumenta a taxa de dados por utilizador.

A estrutura LTE-CA foi introduzida pela primeira vez na versão 10 e permitiu que o UE recebesse e transmitisse dados de/para 5 CCs diferentes, impulsionado a taxa de dados até um máximo de 150 Mbps, com bandas de frequência de apenas 10 MHz para cada portadora. Posteriormente, o CA evoluiu, permitindo uma duplicação dessa taxa para 300 Mbps e bandas de 20 MHz. São suportadas larguras de banda de até 100 MHz.

Fiabilidade e Aprimoramentos de latência Latência significa atraso, a diferença de tempo entre o início de um evento e o momento em que os seus efeitos se tornam perceptíveis, medida em milissegundos. A latência adiciona *delay* à comunicação, ou seja, o período de tempo que um equipamento de rede leva para processar o pacote de dados antes de encaminhá-lo também adiciona *delay*. Cada *router* adiciona, em média, 10 ms de *delay* à comunicação [12]. Então, a redução de latência mostra-se fundamental para comunicações ultra confiáveis. Este 5G traz uma latência média de 1 ms, que suporta novos aplicativos, como serviços de realidade virtual e controlo de tráfego.

Para obter esta latência baixa, são necessários aprimoramentos ao nível de duas estruturas principais: a rede central (*core*) e a rede de acesso a rádio (RAN) [13]:

- **5GC:** aproximar o conteúdo do usuário final e diminuir o caminho entre os dispositivos para aplicações críticas, guardando, por exemplo, uma cópia na “cache” de servidores locais, diminuindo o tempo de acesso;
- **RAN:** novas técnicas de rádio para minimizar os atrasos através do rádio para alguns TTIs juntamente com a robustez e melhorias de códigos para alcançar um alto grau de fiabilidade e permitir que a rede se ajuste às mudanças de tráfego, falhas e novos requisitos da topologia. A nova arquitetura

baseia-se numa RAN com um plano de utilizador (5G) e um plano de controlo (4G) separados, o que requer a separação do hardware de finalidade geral (nós) - para funções de virtualização de rede (NFV) - e do hardware especializado - configurável dinamicamente.

3.3 *Massive Machine Type Communication*

O MMTTC é um paradigma de comunicação onde várias entidades (dispositivos ou coisas) estabelecem uma comunicação direta com a *Internet* e conseguem comunicar entre si com pouca intervenção humana. A vertente massiva surge quando as novas tecnologias conseguem atender uma grande quantidade destas entidades autónomas, que conseguem criar tráfego móvel de três domínios M2M diferentes.

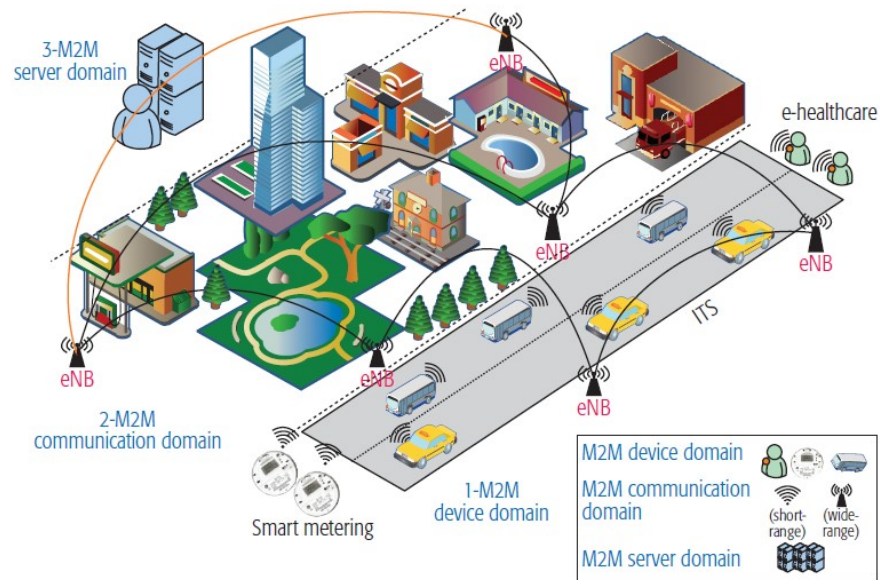


Figura 4: Arquitetura do Paradigma MMTTC [4]

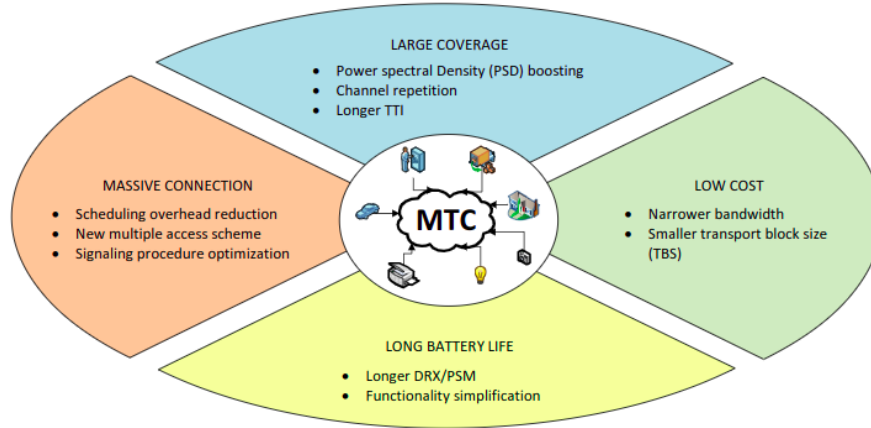


Figura 5: Vertentes estruturais do MMTC [14]

Requisito	Forma de Obtenção
Grande Cobertura	- TTIs mais longos; - Repetição de canal; - Aumento da PSD.
Conexão Massiva	- Reduzir <i>Scheduling Overhead</i> - Novos esquemas de acesso múltiplo; - Otimização do procedimento de sinalização.
Redução do Custo de um UE	- Larguras de Banda mais estreitas; - Tamanho de bloco de transporte menor; - Levando a componentes de RF mais baratos.
Vida Útil Longa da Bateria	- Aprimoramento do DRX (3GPP); - Aumento do tempo de espera para o PSM (v. 12);

Tabela 2: Requisitos para MMTC, com o apoio de [14]

4 Principais aplicações do 5G

As possíveis utilizações do 5G aumentam a cada dia. Esta nova frequência permite uma grande evolução em múltiplas áreas e cada vez mais é utilizado devido à sua qualidade de resposta.

Hoje em dia já vemos 5G presente em inúmeras infraestruturas e dispositivos com centenas de utilidades diferentes. Sendo algumas dessas utilidades as seguintes:

Devido à grande velocidade do 5G, todas as atividades que utilizam Internet, vão cada vez mais optar por esta alternativa mais rápida e que permite ainda mais a evolução e progresso em qualquer que seja a área.

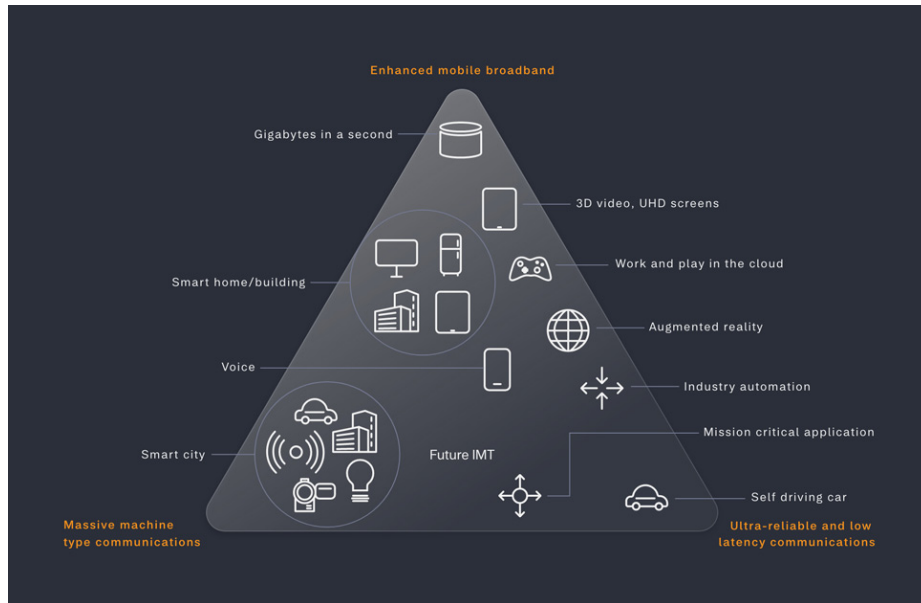


Figura 6: Aplicações do 5G [2]

5 Conclusão

Para a implementação da tecnologia 5G, são necessárias alterações a nível estrutural quer dos dispositivos móveis, quer dos sistemas que lhe servem de suporte, nomeadamente, aprimoramentos ao nível da RAN e das técnicas evidenciadas pelos requisitos da ITU. Através da análise detalhada destes requisitos, dos fatores de evolução das várias tecnologias (desde o 2G ao 4G, e deste ao 5G), facilmente se estabelece que para operar com taxas de transferência de dados altas é preciso uma maior frequência a nível milimétrico, aumentando a largura de banda [11]. Com estes aprimoramentos e tornando os sistemas de suporte aptos para o 5G, estaremos prontos para o implementar e usufruir dos seus benefícios.

Siglas e Acrónimos

- Rel - Release
- 5G Core - 5GC
- International Telecommunication Union - ITU
- User Equipment - UE
- Time Sensitive Communication - TSC
- Non Public Network - NPN
- Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE
- Long Term Evolution - LTE
- LTE-Advanced - LTE-A
- 3rd Generation Partnership Project - 3GPP
- 3rd Generation Partnership Project 2 - 3GPP2
- Ultra Mobile Broadband - UMB
- Radio Access technology - RAT
- Small Base Stations - SBS
- Macro Base Stations - MBS
- Ultra Dense Cloud Small Cell Network - UDCSNet
- Band Base Unit - BBU
- Remote Radio Unit - RRU
- Remote Radio Head - RRH
- Heterogeneous network - HetNet
- Multiple-Input Multiple-Output - MIMO
- User Equipment - UE
- Carrier Aggregation - CA
- Component Carrier - CC
- Intervalos de Tempo de Transmissão - ITT
- Machine To Machine - M2M
- Power Spectral Density - PSD
- Discontinuous Reception - DRX
- Power Saving Mode - PSM
- Version - v.

Referências

1. 5g vs. 4g | what is the difference between 5g 4g networks? | iselect, <https://www.iselect.com.au/internet/5g-australia/5g-vs-4g/>
2. Cocus | 5g use cases - which are the most relevant ones?, <https://www.cocus.com/en/which-5g-use-cases-are-the-most-relevant-ones/>
3. Comparison of 2g 3g 4g 5g | 2g vs 3g vs 4g vs 5g | 5g vs 4g | difference between 4g and 5g | rantcell, <https://rantcell.com/comparison-of-2g-3g-4g-5g.html>
4. Massive machine type communication in 5g and beyond network – itn spotlight, <https://itnspotlight.com/massive-machine-type-communication-in-5g-and-beyond-network/>
5. Timeline from 1g to 5g: A brief history on cell phones - cengn, <https://www.cengn.ca/information-centre/innovation/timeline-from-1g-to-5g-a-brief-history-on-cell-phones/>
6. Understanding 3gpp – starting with the basics | qualcomm, <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/08/02/understanding-3gpp-starting-basics>
7. What is lte (long-term evolution)?, <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/Long-Term-Evolution-LTE>
8. 5g evolution: A view on 5g cellular technology beyond 3gpp release 15. IEEE Access **7**, 127639–127651 (2019). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939938>
9. Abdullah, M.F.L., Abdullah, J., Yonis, A.Z., Ghanim, M.F., Com, M.: Comparison study on 3.9g and 4g evolution
10. Id AMSTERDAM, E.D.S.P.J.S., York, L.N., Francisco, S.D.S.: 4g: Lte/lte-advanced for mobile broadband second edition www.elsevier.com/permissions
11. Gopal, B.G., Kuppusamy, P.G.: A comparative study on 4g and 5g technology for wireless applications **10**, 67–72. <https://doi.org/10.9790/2834-10636772>, www.iosrjournals.org
12. Keller, N.A.: Asterisk na prática 2ª edição (2011), www.novatec.com.br
13. MWF: Emf explained series 5g 5g 5g and emf explained www.emfexplained.info 5g e os cem explicados, www.emfexplained.info
14. Pukari, V.: Degree programme in computer science and engineering lte evolution towards 5g
15. Thales: Introducing 5g networks – characteristics and usages <https://www.thalesgroup.com/en/global/group>
16. Zhang, H., Dong, Y., Cheng, J., Hossain, M.J., Leung, V.C.: Fronthauling for 5g lte-u ultra dense cloud small cell networks. IEEE Wireless Communications **23**, 48–53 (12 2016). <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.1600066WC>