

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES E  
TELEINFORMÁTICA

NICOLAS JANS MULDER

**REQUISITOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE  
PARA SUPORTAR O 5G**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2018

NICOLAS JANS MULDER

## **REQUISITOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PARA SUPORTAR O 5G**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA  
2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Redes de Computadores e  
Teleinformática



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **REQUISITOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE PARA SUPPORTAR O 5G**

por

**NICOLAS JANS MULDER**

Esta Monografia foi apresentada em 26 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores e Teleinformática. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Valmir de Oliveira  
Orientador

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Membro titular

---

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

## RESUMO

MULDER, Nicolas Jans. **Requisitos na implementação de redes de transporte para suportar o 5G**. 2018. 37 p. Monografia de especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Os avanços em conteúdo digital trazem novos desafios para as redes móveis, o aumento dos requisitos de largura de banda, a latência reduzida e a alta disponibilidade impulsionam a necessidade de evolução nas redes atuais. Para atender a essas novas demandas, institutos regulatórios como o ITU avaliam o uso de novos espectros de radiofrequência. A próxima geração de redes são as interfaces 5G / IMT-2020, que têm como objetivo oferecer suporte a três serviços genéricos: Banda Larga Móvel Aprimorada (eMBB), Comunicações do tipo Máquina Massiva (mMTC) e Comunicações de Baixa Latência Ultra-Confíáveis (URLLC). O suporte a esses serviços traz mudanças na arquitetura das redes, o 3GPP desenvolveu a arquitetura modular chamada NG-RAN. Sua implementação pode ocorrer de forma centralizada ou distribuída de acordo com os requisitos e necessidades das operadoras. Essas mudanças trazem impactos diretos nas redes de transporte, responsáveis por interligar as interfaces dos elementos das redes móveis. Divididos em Fronthaul, Midhaul e Backhaul, de acordo com os elementos de interconexão, eles devem fornecer conexões com alta largura de banda, baixa latência e alta confiabilidade. Entendendo os requisitos mínimos para as redes de transporte, é possível começar o planejamento e a estruturação para a implantação efetiva de redes 5G.

**Palavras-chave:** Redes 5G. Redes de Transporte. Fronthaul. Midhaul. Backhaul.

## ABSTRACT

MULDER, Nicolas Jans. **Requirements for the implementation of transport networks to support the 5G**. 2018. 37 p. Monografia de especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Advances in digital content bring new challenges to mobile networks, increased bandwidth requirements, reduced latency and high availability drive the need for evolution in today's networks. In order to meet these new demands, regulatory institutes such as the ITU evaluate the use of new radiofrequency spectra. The next generation of networks are the 5G / IMT-2020 interfaces, which aim to support three generic services: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Massive Machine-type Communications (mMTC) and Ultra-Reliable Low-latency Communications (URLLC). Supporting these services brings changes in the architecture of the networks, 3GPP has developed the modular architecture called the NG-RAN. Its implementation can occur centrally or distributed according to the requirements and needs of the carriers. These changes bring direct impacts on the transport networks, responsible for interconnecting the interfaces of the elements of the mobile networks. Divided into Fronthaul, Midhaul and Backhaul, according to the interconnecting elements, they must provide connections with high bandwidth, low latency and high reliability. Understanding the minimum requirements for the transport networks it is possible to begin planning and structuring for the effective deployment of 5G networks.

**Keywords:** 5G Networks. Transport Networks. Fronthaul. Midhaul. Backhaul.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicações das redes 5G .....	10
Figura 2 - Serviços suportados pelas redes 5G .....	16
Figura 3 - Fatiamento de uma rede 5G .....	20
Figura 4 - Arquitetura do 3GPP para redes 5G .....	22
Figura 5 - Flexibilidade da localização das unidades funcionais das redes RAN 5G	23
Figura 6 - Topologias <i>Non-stand alone</i> .....	24
Figura 7 - Topologia <i>Stand-alone</i> .....	25
Figura 8 - Arquitetura com o CU/DU integrados.....	27
Figura 9 - Arquitetura com o CU e DU separados.....	27
Figura 10 - Impacto das arquiteturas 5G nas redes de transporte .....	28

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos mínimos para transmissões 5G .....	18
Quadro 2 - Largura de Banda para as redes de transporte.....	30
Quadro 3 - Requisitos de Latência .....	31
Quadro 4 - Alcance das redes de transporte.....	31

## LISTA DE SIGLAS

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i> (ou projeto em parceria de 3ª geração)
BBU	<i>BaseBand Unit</i> (ou unidade de banda base)
CA	<i>Carrier Aggregation</i> (ou agregação de operadoras)
CN	<i>Core Network</i> (ou rede core)
CoMP	<i>Coordinated Multi Point Transmission</i> (ou transmissão multi ponto coordenada)
CP	<i>Control Plane</i> (ou plano de controle)
CPRI	<i>Common Public Radio Interface</i> (ou interface pública comum de rádio)
C-RAN	<i>Centralized Radio Access Network</i> (ou rede de acesso via rádio centralizada)
CU	<i>Central Unit</i> (ou unidade central)
DU	<i>Distributed Unit</i> (ou unidade distribuída)
eCPRI	<i>enhanced Common Public Radio Interface</i> (ou interface pública comum de rádio melhorada)
eMBB	<i>enhanced Mobile Broadband</i> (ou banda larga móvel melhorada)
eNB	<i>evolved NodeB</i> (ou nós B evoluídos)
EPC	<i>Evolved Packet Core</i> (ou pacote core evoluído)
E-UTRA	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i> (ou rádio de acesso terrestre universal evoluído)
gNB	<i>next generation Node B</i> (ou nó B de próxima geração)
HLS	<i>High Level Split</i> (ou divisão de alto nível)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (ou instituto de engenheiros eletricitas e eletrônicos)
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i> (ou telecomunicações móveis internacionais)
IoT	<i>Internet of Things</i> (ou Internet das Coisas)
ITU	<i>International Telecommunications Unnion</i>
ITU-T	<i>International Telecommunications Unnion - Telecommunication Standardization Sector</i>

LLS	<i>Low Level Split</i> (ou divisão de baixo nível)
LTE	<i>Long Term Evolution</i> (ou evolução de longo prazo)
MIMO	<i>Multiple Inputs, Multiple Outputs</i> (ou múltiplas entradas e múltiplas saídas)
mMTC	<i>Massive Machine-type Communications</i> (ou comunicação tipo máquina massiva)
NFV	<i>Network Function Virtualization</i> (ou virtualização de funções de redes)
NG-RAN	<i>New Generation Radio Access Network</i> (ou rede de acesso via rádio de nova geração)
NR	<i>New Radio</i> (ou novo rádio)
RAN	<i>Radio Access Network</i> (ou rede de acesso via rádio)
RAT	<i>Radio Access Technology</i> (ou tecnologia de acesso a rádio)
RRH	<i>Remote Radio Head</i> (ou cabeça de rádio remota)
RU	<i>Remote Unit</i> (ou unidade remota)
SDN	<i>Software Defined Network</i> (ou rede definida por software)
UDN	<i>Ultra Density Network</i> (ou rede de ultra densidade)
UP	<i>User Plane</i> (ou plano do usuário)
URLLC	<i>Ultra-reliable Low-latency Communication</i> (ou comunicação ultra confiável de baixa latência)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 PROBLEMA .....	10
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.2.1 Objetivo Geral .....	11
1.2.2 Objetivos Específicos .....	11
1.3 JUSTIFICATIVA .....	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	12
<b>2 AS REDES DE QUINTA GERAÇÃO - 5G .....</b>	<b>14</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
2.2 REQUISITOS MÍNIMOS DAS REDES 5G .....	17
2.3 ARQUITETURAS DAS REDES 5G .....	19
2.3.1 Arquitetura das Redes Core .....	19
2.3.2 Arquitetura das Redes de Acesso Via Rádio .....	21
2.3.3 Migração das Redes 4G para as Redes 5G .....	24
<b>3 REDES DE TRANSPORTE PARA O 5G .....</b>	<b>26</b>
3.1 ELEMENTOS DAS REDES DE TRANSPORTE .....	26
3.1.1 Migração das Redes de Transporte 3G/4G para 5G .....	27
3.2 REQUISITOS PARA AS REDES DE TRANSPORTE .....	28
3.2.1 Largura de Banda .....	30
3.2.2 Latência .....	31
3.2.3 Alcance .....	31
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O consumo de dados móveis vem aumentando com o uso, em larga escala, dos *Smartphones*, *Tablets*, *Laptops* e dispositivos de Internet das Coisas (ou *Internet of Things* - IoT). A empresa Cisco estima que em 2021 serão consumidos cerca de 49 exabytes por mês através das redes móveis (CISCO, 2017).

Visando comportar aquelas altas demandas, as redes móveis vêm evoluindo para oferecer menor latência e maior velocidade na transmissão de dados, atualmente, implantadas em maior quantidade, as redes denominadas de 3G e 4G são responsáveis por mais da metade dos acessos móveis (MCKETTA, 2017).

Em face das atuais necessidades impostas pelos usuários das redes móveis, tornou-se necessário o uso de novas bandas de frequência, desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas para suprir a crescente demanda (RAHIM et al., 2017). O aproveitamento de novas bandas espectrais, através de avanços tecnológicos e técnicos, possibilitam desempenhos superiores ao das redes atuais e são considerados a próxima geração das redes móveis, chamada de 5G (WANG et al., 2017).

Institutos normativos internacionais do setor de telecomunicação, como a *International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector* (ITU-T) em conjunto com fabricantes, operadoras e pesquisadores possuem grupos de estudo dedicados para determinar as tecnologias que possibilitem o melhor aproveitamento do espectro (MARKS, 2018). Através de fóruns internacionais e publicações, esses agentes buscam a caracterização, definição de requisitos, análise dos desafios e normatização das tecnologias que constituem as redes 5G (JABER et al., 2016).

Desde o início das atividades voltadas ao desenvolvimento dessa nova geração de redes em 2012, avanços foram feitos no processo de caracterização e definição de requisitos mínimos (MARKS, 2018). Para atender demandas de uso além das suportadas pelas redes 4G, as novas redes devem oferecer aos seus usuários maior capacidade de banda, baixa latência associada a alta disponibilidade e conectividade massiva (JABER et al., 2016).

A viabilização depende de avanços nas tecnologias existentes e desenvolvimento de novas estratégias (WANG et al., 2017). O uso de redes de ultra densidade (ou *Ultra Density Network* - UDN), coordenação da interferência entre células, uso de antenas MIMO, processamento de multiponto coordenado (ou

*Coordinated Multi Point Transmission - CoMP*) e processamento centralizado na nuvem são algumas das tecnologias identificadas como necessárias para essas novas redes (JABER et al., 2016).

Além dos desafios relacionados à tecnologia, as redes 5G também sofrem desafios econômicos, baseado no modelo de implantação tradicional, o aumento da densidade das redes torna-se caro devido ao custo da instalação e dos equipamentos rádio base (LUONG et al., 2017).

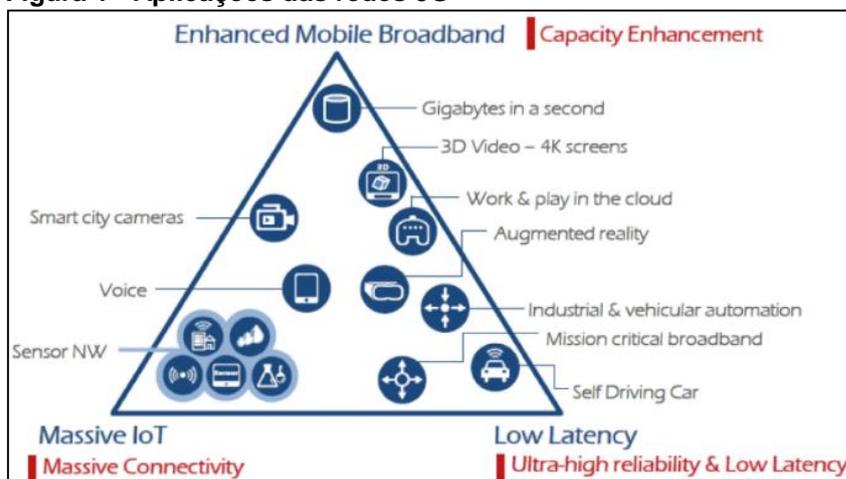
A nova tecnologia possui um grande potencial, contudo, antenas e rádios não são as únicas áreas que necessitam de investimento. Deve-se, também, investir massivamente em redes de transporte, as quais são utilizadas nas interconexões dos equipamentos (BARTELT et al., 2017).

Nos próximos capítulos serão avaliados os requisitos para as redes 5G, assim como a infraestrutura necessária para garantir seu funcionamento.

## 1.1 PROBLEMA

Os avanços efetuados na caracterização do 5G indicam as aplicações possíveis através dessas redes. Com o conjunto da alta disponibilidade de banda, baixa latência, ultra disponibilidade e conectividade deve ser possível transmitir grandes quantidades de dados, reproduzir conteúdo 3D, virtualização de softwares, uso de realidade aumentada, automações industriais e veiculares assim como uma vasta gama de sensores IoT, como pode ser observado na Figura 1 (LUONG et al., 2017).

**Figura 1 - Aplicações das redes 5G**



Fonte: Weissberger (2017).

Ao passo em que o desenvolvimento para garantir o funcionamento dessas aplicações progride no âmbito dos equipamentos localizados na ponta da rede, com o intuito de prover cobertura para os usuários finais, um novo gargalo é identificado na viabilidade das redes 5G, as redes de transporte (BARTELT et al., 2017).

As redes móveis são constituídas através da interligação de diversas células de comunicação a núcleos de processamento e interligações com centros de dados a fim de prover serviço para seus usuários (TUDZAROV; GELEV, 2017).

Uma vez que um usuário estabelece comunicação com as antenas presentes dentro de uma célula de comunicação, esta informação deve ser repassada para os outros elementos da rede até chegar em seu destino final (ROST et al., 2016). Essa transmissão ocorre através das redes de transporte, as quais devem ser capazes de suportar os requisitos mínimos de desempenho das estações rádio base (BARTELT et al., 2017).

Com requisitos de desempenho maiores do que as gerações de redes anteriores o 5G necessita de redes de transporte de alta capacidade para o sucesso de sua implantação (TUDZAROV; GELEV, 2017).

No contexto acima apresentado pretende-se entender os requisitos necessários para a atualização e construção das redes de transporte que iram hospedar as redes 5G.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Neste contexto pretende-se expor os requisitos para a implantação das redes de transporte que suportaram o 5G.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Compreender os requisitos das redes 5G;

- Levantar as topologias disponíveis para as redes 5G;
- Expor a necessidade das redes de transporte para o 5G;
- Verificar os desafios na escolha das redes de transporte.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

As redes móveis se tornaram um pilar da sociedade, e o uso deste recurso só tende a aumentar com a inserção de mais dispositivos conectados nas redes para automação, sensoriamento e envio de dados (CISCO, 2017).

Acomodar tais demandas de maiores velocidades e latências na casa de poucos segundos tornou-se um desafio para a próxima geração de redes móveis. Esta nova geração de redes, popularmente conhecida como 5G, ainda possui desafios técnicos e econômicos para a sua implementação com sucesso (RAHIM et al., 2017).

Grupos como o *International Telecommunication Union (ITU)*, *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* e *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* tem se dedicado a compreender melhor estes desafios e auxiliar no direcionamento para a implementação rápida e eficiente das redes de quinta geração (5G) (MARKS, 2018).

Compreender estes desafios e entender o direcionamento do 5G são etapas necessárias para avaliar as redes atuais e planejar as próximas ações na construção das redes de transporte para que seja possível aproveitar das vantagens oferecidas pelas redes 5G (JABER et al., 2016).

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de especialização está dividida em 4 (quatro) seções. Nesta primeira seção foi introduzido o assunto tema do trabalho e também foram abordados a motivação e os objetivos geral e específicos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Já na segunda seção: “AS REDES DE QUINTA GERAÇÃO - 5G”, será abordado o histórico do desenvolvimento dessa tecnologia e seus requisitos.

A seguir na terceira seção: “REDES DE TRANSPORTE PARA O 5G”, será abordado os desafios impostos pelas redes 5G nas redes de transporte.

Na quarta seção: “CONCLUSÃO”, tendo como base as informações levantadas nas seções anteriores serão discutidos os principais pontos de atenção no desenvolvimento das redes de transporte.

## 2 AS REDES DE QUINTA GERAÇÃO - 5G

Neste item será apresentada uma base contextual sobre a história do desenvolvimento das tecnologias e técnicas que compõe as redes de quinta geração (5G) a fim de auxiliar no processo de compreensão da importância do planejamento e estudo das redes de transporte.

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As redes móveis, ao longo de sua história, vêm sofrendo avanços significativos em velocidade, confiabilidade e disponibilidade em períodos de aproximadamente dez anos (SHAFI et al., 2017). Estas mudanças podem ser consideradas como uma resposta ao aumento de demanda, novos serviços e mudança no comportamento dos usuários destas redes (MCKETTA, 2017).

No início das redes de comunicação os protocolos foram desenvolvidos focados na comunicação de voz, serviço base para o desenvolvimento das telecomunicações. Em paralelo a evolução e a popularização da internet através de acesso cabeado introduziu novas formas de consumo de informações, como portais de notícias, bate-papos e envio e recebimento de imagens (ROST et al., 2016).

Com o objetivo de disponibilizar esta gama de novos conteúdos de forma móvel, iniciou-se o processo de aproveitamento, da banda disponível para a comunicação de voz, para trafegar dados web (CISCO, 2017).

Esta migração de uma rede focada em voz para uma rede focada em dados trouxe a padronização das redes móveis atuais, popularmente chamadas de 3G e 4G, trazendo a disponibilidade de conteúdo, principalmente no formato multimídia como imagens, áudios, vídeos e *streamings* (ROST et al., 2016).

No entanto, assim como as redes móveis tem evoluído os conteúdos também continuam a evoluir, e novos serviços baseados no uso da internet vem surgindo (CISCO, 2017).

A demanda por conteúdos em vídeo, em altas resoluções e longa duração deve continuar aumentando. Estimasse que até 2019 o tráfego anual móvel deve aumentar em 291.8 exabytes (SHAFI et al., 2017).

Com foco em atender os novos padrões de tráfego iniciou-se o processo de definição da próxima geração de redes por parte de fabricantes, operadoras e usuários no mundo todo (MARKS, 2018).

Criar padrões e normas para a implementação de novas tecnologias de redes móveis é imprescindível para garantir a interoperabilidade entre equipamentos, compatibilidade de softwares e redes, assim como uniformizar as redes mundialmente (MARKS, 2018).

A criação de novas normas não está apenas ligada a coordenação da indústria, mas também a regulamentações internacionais. As operadoras de telefonia móvel operam utilizando espectros de rádio frequência exclusivos e que são licenciados por administradores nacionais (MARKS, 2018). Assim é fundamental a harmonização global dos dispositivos que operam nestas faixas de espectro a fim de garantir seu funcionamento globalmente (ITU-T, 2018).

As regulamentações internacionais para comunicação de rádios são definidas em uma série de conferências globais da *International Telecommunication Union* (ITU) (SHAFI et al., 2017).

A ITU é um organismo reconhecido mundialmente quanto a definições no setor de telecomunicações, cujo o principal objetivo é o uso racional, de forma imparcial, eficiente e econômico do espectro de frequência por todos os serviços de telecomunicações (ITU-T, 2018).

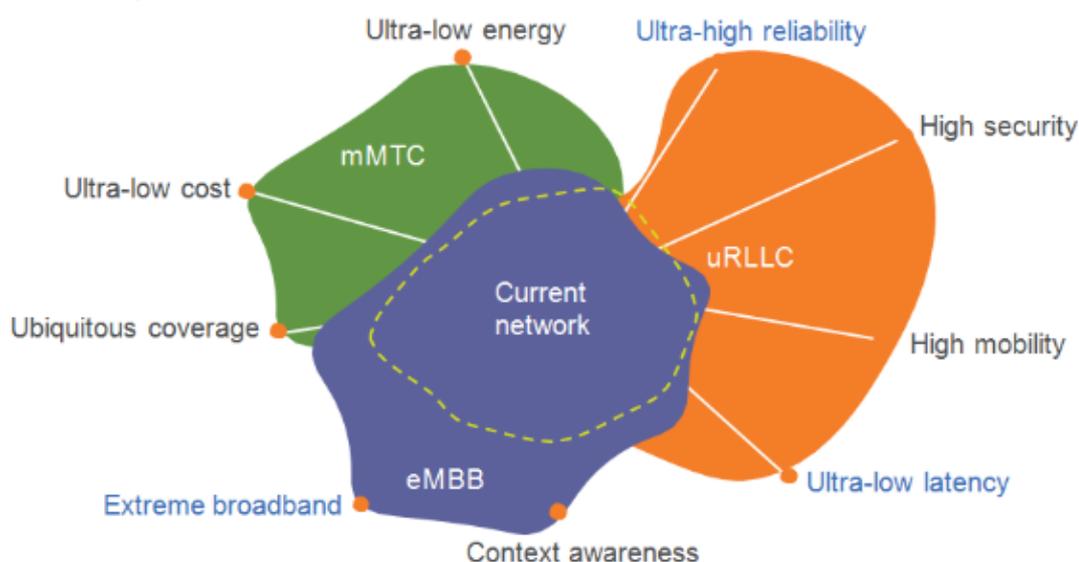
O setor de comunicações de rádio da ITU, conhecido como ITU-R, desde os anos 90 identifica potenciais espectros para o uso nas Telecomunicações Móveis Internacionais (*International Mobile Telecommunications - IMT*). Os IMTs são especificados por uma série de normas internas e externas, assim como sugestões para aqueles que desejam implementar estas redes (ITU-T, 2018).

Com as crescentes demandas por novos espectros a ITU junto com a indústria dos celulares vem formulando o conceito de tecnologias de nova geração que promovam novas oportunidades acompanhadas dos novos espectros (MARKS, 2018).

A ITU-R iniciou o planejamento do IMT-2020 em 2012 acompanhado de recomendações e relatórios elaborados pelo Grupo de Estudos 5D incluindo a visão, cronograma e objetivos. Através desses primeiros documentos iniciou-se os primeiros sinais das redes 5G (SHAFI et al., 2017).

O objetivo das interfaces de rádio IMT-2020 é suportar três serviços genéricos, com uma série de requerimentos heterogêneos: *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Massive Machine-type Communications* (mMTC) e *Ultra-Reliable Low-latency Communications* (URLLC), Figura 2 (POPOVSKI et al., 2018).

**Figura 2 - Serviços suportados pelas redes 5G**



Fonte: Ngof (2018).

O tráfego eMBB pode ser considerado uma extensão direta do serviço de banda larga 4G (SHAFI et al., 2017). É caracterizado por grandes containers de transmissão e por padrões de ativação de dispositivos que permanecem estáveis por longos períodos de tempo (KABALCI, 2018). Assim, o eMBB consiste em uma conexão estável com um grande pico de taxa de dados, assim como taxas moderadas para os usuários presentes na borda das células (SHAFI et al., 2017).

Em contraste, mMTC suporta dispositivos IoT de forma massiva e é ativado em períodos intermitentes, com taxas tipicamente baixas no *uplink* (RATASUK et al., 2017). Um grande número de dispositivos mMTC podem estar conectados a uma mesma estação rádio base, ativados de forma randômica. Para estas aplicações é necessário oferecer recursos que possam ser compartilhados através de acessos aleatórios (POPOVSKI et al., 2018).

Já o URLLC suporta transmissões de baixa latência, de pequenos containers, com alta confiabilidade, de um grupo limitado de dispositivos. Esses podem ser ativados de acordo com padrões geralmente especificados por eventos externos, como alarmes e notificações (POPOVSKI et al., 2018).

Buscando desenvolver uma rede capaz de suportar esses serviços o grupo de estudo da ITU, chamado de *Working Group 5D*, completou o estudo das inovações em redes necessárias para suportar os sistemas 5G (MARKS, 2018).

Como mencionado anteriormente, além dos grupos de estudo internos da ITU, são levados em conta propostas e estudos efetuados por outras organizações. Alinhado com os estudos e definições da ITU está o 3GPP, a terceira geração de projetos parceiros, que foca em prover para seus membros um ambiente estável para produzir relatórios e especificações para definir as tecnologias que devem moldar o 5G (3GPP, 2018).

O projeto cobre telecomunicação de redes celular com rádio, redes de transporte central e capacidade de serviços. As especificações e estudos do 3GPP contribuem como direcionadores na definição das práticas para a rápida implementação das novas gerações de redes (MARKS, 2018). Desde o desenvolvimento do LTE o 3GPP se tornou o ponto central para sistemas de telecomunicação além do 3G (SHAFI et al., 2017).

No âmbito do 5G, o projeto tem descrito como e onde o processo de normatização do 5G tem sido conduzido, através da identificação de três fases do processo: Visão, especificações técnicas e políticas (AL-DULAIMI; HU, 2018).

Com a contribuição destas organizações foram publicados os requisitos de desempenho mínimos para garantir o adequado funcionamento dos dispositivos que utilizam o eMBB, mMTC e URLLC (SHAFI et al., 2017).

## 2.2 REQUISITOS MÍNIMOS DAS REDES 5G

Em 2017, através do relatório ITU-R M.2410-0 foram estabelecidos os requisitos mínimos relacionados ao desempenho das interfaces de rádio IMT-2020 (MARKS, 2018). O relatório foi escrito levando em consideração os desenvolvimentos em andamento de pesquisas externas e organizações tecnológicas (ITU-T, 2017).

Devido a grande gama de aplicações das interfaces IMT-2020, tais interfaces podem ser avaliadas por diversas perspectivas, como usuários, fabricantes, desenvolvedores de aplicativos, operadores, provedores de conteúdo e provedores de serviço (SHAFI et al., 2017). Assim é reconhecido que as tecnologias para o IMT-2020 podem ser aplicadas em diferentes cenários e de diferentes formas para suportar os diferentes ambientes, serviços e opções tecnológicas (BLANCO et al., 2017).

O objetivo de definir requisitos mínimos para tais tecnologias é garantir que os diferentes cenários, sejam capazes de cumprir com os objetivos das redes de quinta geração, assim como garantir seu desempenho (ITU-T, 2018).

No Quadro 1 pode ser observado que os requisitos foram definidos levando em consideração o tipo de aplicação, já que cada uma dessas aplicações necessita de requisitos específicos para seu funcionamento.

**Quadro 1 - Requisitos mínimos para transmissões 5G**

KPI	Key Use Case	Values
Peak Data Rate	eMBB	DL: 20 Gbps, UL: 10 Gbps
Peak Spectral Efficiency	eMBB	DL: 30 bps/Hz, UL: 15 bps/Hz
User Experienced Data Rate	eMBB	DL: 100 Mbps, UL: 50 Mbps (Dense Urban)
5% User Spectral Efficiency	eMBB	DL: 0.3 bps/Hz, UL: 0.21 bps/Hz (Indoor Hotspot); DL: 0.225 bps/Hz, UL: 0.15 bps/Hz (Dense Urban); DL: 0.12 bps/Hz, UL: 0.045 bps/Hz (Rural)
Average Spectral Efficiency	eMBB	DL: 9 bps/Hz/TRxP, UL: 6.75 bps/Hz/TRxP (Indoor Hotspot); DL: 7.8 bps/Hz/TRxP, UL: 5.4 bps/Hz/TRxP (Dense Urban); DL: 3.3 bps/Hz/TRxP, UL: 1.6 bps/Hz/TRxP (Rural)
Area Traffic Capacity	eMBB	DL: 10 Mbps/m <sup>2</sup> (Indoor Hotspot)
User Plane Latency	eMBB, URLLC	4 ms for eMBB and 1 ms for URLLC
Control Plane Latency	eMBB, URLLC	20 ms for eMBB and URLLC
Connection Density	mMTC	1,000,000 devices/km <sup>2</sup>
Energy Efficiency	eMBB	Capability to support high sleep ratio and long sleep duration to enable low energy consumption when there is no data
Reliability	URLLC	1–10 <sup>-5</sup> success probability of transmitting a layer 2 protocol data unit of 32 bytes within 1 ms in channel quality of coverage edge
Mobility	eMBB	Up to 500 km/h
Mobility Interruption Time	eMBB, URLLC	0 ms
Bandwidth	eMBB	At least 100 MHz; Up to 1 GHz for operation in higher frequency bands (e.g., above 6 GHz)

Fonte: Shafi et al. (2018).

Para aplicações eMBB são definidos requisitos mínimos de taxa máxima de dados, utilização eficiente do espectro de frequência e capacidade de tráfego disponível por área, banda disponível e eficiência energética (POPOVSKI et al., 2018).

Para aplicações URLLC, o foco passa a ser a latência de comunicações com taxas na casa de 1 ms para a comunicação no plano do usuário e 20 ms para comunicação com o plano de controle (SHAFI et al., 2017). Além da latência, as comunicações URLLC devem apresentar alta probabilidade de sucesso na conexão e 0 ms de tempo de interrupção durante sua mobilidade (POPOVSKI et al., 2018).

No caso dos serviços mMTC é necessário permitir no mínimo conexões simultâneas de 1.000.000 dispositivos por quilometro quadrado. No Quadro 1, também é possível observar os requisitos para os serviços 5G.

Em geral, a tecnologia 5G é diferente das gerações anteriores de rede no que se refere a largura de banda, latência, número de conexões, mobilidade e outros aspectos (RATASUK et al., 2017).

Baseado nos requisitos para a operação das interfaces 5G os requisitos das redes de transporte para o 5G também são fortemente afetados. As mudanças nas redes 5G e nas redes de núcleo também levam a mudanças na arquitetura das redes de transporte (BARTELT et al., 2017).

## 2.3 ARQUITETURAS DAS REDES 5G

Os requisitos das redes 5G impõe mudanças na arquitetura da rede *core* e da rede de acesso, e por consequência também nas redes de transporte. A fim de compreender essas mudanças na rede de transporte serão abordados as principais tendências e definições nas arquiteturas da rede *core* e rede de acesso.

### 2.3.1 Arquitetura das Redes Core

Os requisitos da rede 5G impõem grandes desafios para o *Core* da rede devido as aplicações heterogêneas dos pacotes da rede. Esta flexibilidade e adaptabilidade é a principal funcionalidade que distingue a rede *core* 5G.

O suporte a diferentes configurações da rede *core* já haviam surgido nos pacotes *core* do 4G através do *Release* 14 do 3GPP, propondo separação do plano de controle (PC) e o plano do usuário (PU) que compõem o *Core* (SHAFI et al., 2017). Esta separação, denominada *Enhanced Packet Core* (EPC) fornece suporte mais eficiente ao aumento de tráfego pela implementação independente de novos elementos do PU e evolução independente dos planos para o desenvolvimento de novas tecnologias (OLIVEIRA; ALENCAR; LOPES, 2018).

Nas redes 5G as mudanças são ainda maiores, a necessidade de redesenhar os pacotes do *Core* para o 5G foi introduzida pela ITU-R no documento M.2083. Em paralelo o 3GPP introduziu novas abordagens na arquitetura das redes móveis para facilitar a implementação, dimensionamento da rede através dos *Release* 15 e 16 (OLIVEIRA, 2018). Esses *releases* tratam-se de uma evolução do *release* 14, onde *core* possui uma divisão completa entre o PC e o PU (SHAFI et al., 2017).

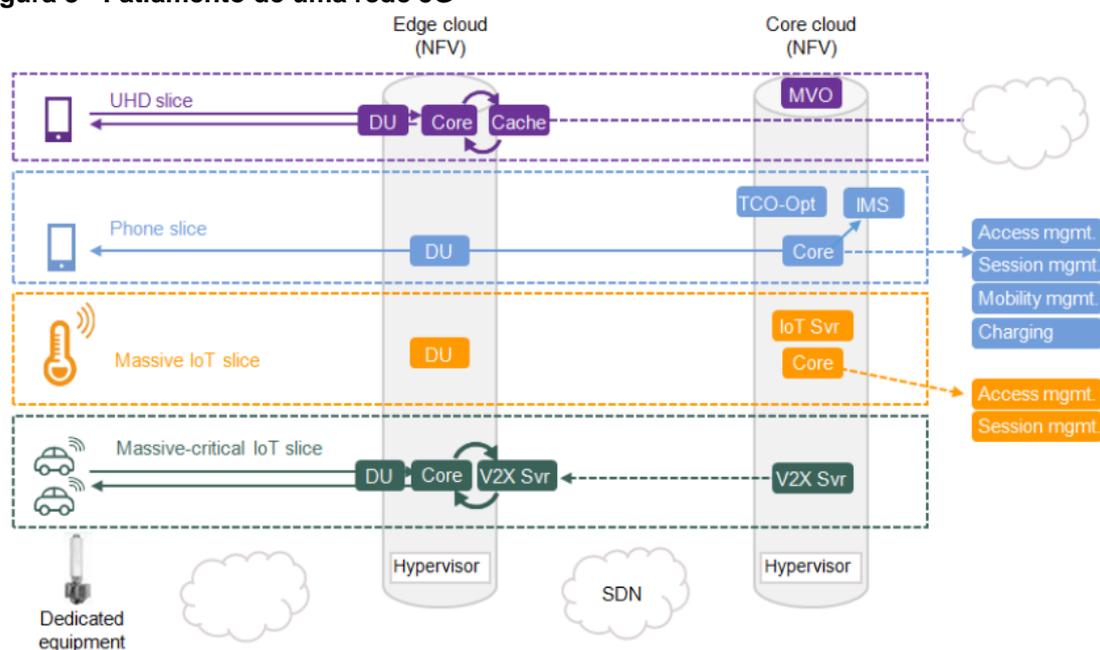
Para alcançar a o nível de flexibilidade necessário é necessário adotar técnicas como *Software Defined Networking* (SDN), *Network Function Virtualization* (NFV) e *Networking Slicing* (SHAFI et al., 2017).

As redes SDN permitem lidar com a complexidade do gerenciamento e administração da rede, aliadas com o NFV, possibilitam criar uma rede lógica virtualizada conectada a links virtuais. Essas virtualizações possibilitam a substituição de hardwares proprietários, minimizando os investimentos iniciais na rede e manutenção (NGOF, 2018).

Em conjunto com a virtualização de serviços, o fatiamento da rede (*Network Slicing*) utiliza a mesma estrutura lógica e física para suportar os diferentes serviços das redes 5G (FUCHUAN, 2018). Essa abordagem permite alocar diferentes taxas, capacidades e cobertura de acordo com a demanda criando diferentes instancias virtuais de rede dedicadas para cada um dos serviços (SHAFI et al., 2017). Dessa forma a experiência do usuário é equivalente a se o mesmo estivesse utilizando uma rede fisicamente separada.

Para o completo aproveitamento das novas estruturas da rede core é necessário aplicar os conceitos de fatiamento de rede e virtualização por toda rede de transporte, para que então está possa prover interconectividade orientada aos diferentes tipos de conexão e pacotes de cada um dos serviços como mostrado na Figura 3 (NGOF, 2018).

**Figura 3 - Fatiamento de uma rede 5G**



Fonte: Ngof (2018).

### 2.3.2 Arquitetura das Redes de Acesso Via Rádio

As Redes de Acesso via Rádio (*Radio Access Network* - RAN) são organizadas em células onde estão localizadas as estações rádio base (MARKS, 2018). As células são a região onde existe cobertura para os dispositivos móveis, dentro dessas é possível comunicar-se com as estações rádio base responsável por enviar as informações para o Core da rede (ROST et al., 2016).

As estações rádio base são divididas em uma Unidade de Banda Base (*BaseBand Unit* - BBU) e uma Unidade de Remota (*Remote Radio Head* - RRH). De forma simplificada o BBU é responsável pela geração e processamento do sinal RF digitalizado e o RRH cria o sinal analógico transmitido pelas antenas (ITU-T, 2018).

Tradicionalmente, as RANs concentram o BBU e o RRH no mesmo local, tornando necessário a presença de uma estação rádio base por célula. Além da estação rádio base também é necessário disponibilizar a infraestrutura para o funcionamento desses aparelhos, como resfriamento, energia elétrica e funcionalidades de roteamento (ROST et al., 2016). Dessa forma, para a implementação de uma célula de rádio é necessário um alto investimento inicial (MARKS, 2018).

Durante a implantação das redes 4G foi observado a necessidade de aumentar a densidade de células para garantir a largura de banda, visando reduzir o investimento inicial iniciou-se a implementação de Redes de Acesso via Rádio Centralizadas (*Centralized Radio Access Network* - C-RAN). As C-RAN são a divisão entre as funções da estação rádio base, onde as funções de controle são centralizadas e as antenas e acesso dos usuários são posicionados nas células (ROST et al., 2016). Essa abordagem permite baratear os investimentos iniciais na implementação de novas células.

Com o desenvolvimento das redes 5G existe uma mudança de arquitetura, essa não é mais baseada em cobertura, mas sim baseada em capacidade (ITU, 2018). Com isso as células se tornam menores para disponibilizar a largura de banda necessária para seus usuários. Com células menores é necessário aumentar a quantidade de células para garantir a cobertura dos usuários, também é necessário ter um sistema de coordenação robusto entre essas (FUCHUAN, 2018).

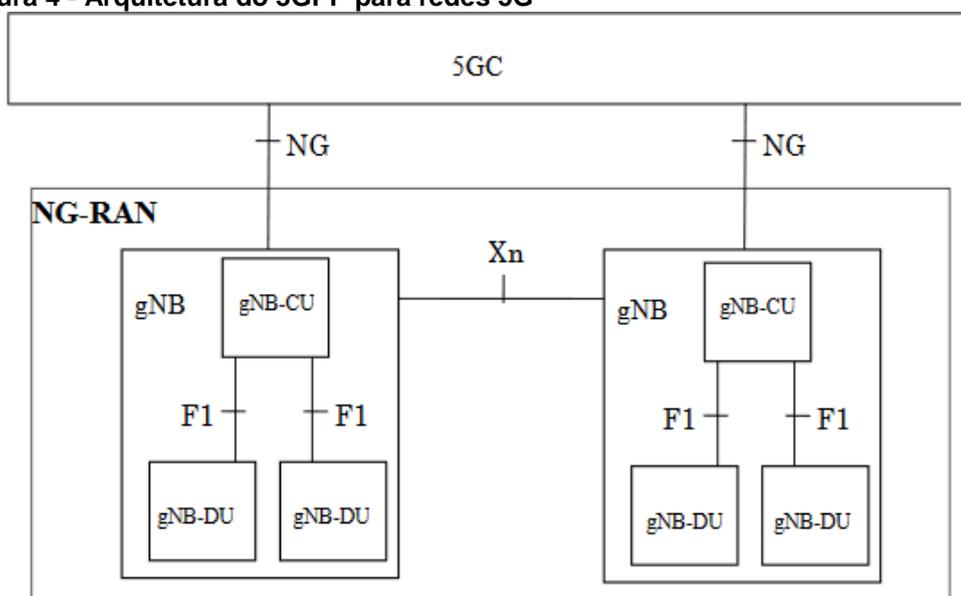
Baseado nos conceitos da arquitetura C-RAN o 3GPP publicou o modelo de arquitetura 5G RAN conhecido como NG-RAN, especificou em seu Release 15 uma

nova terminologia, interfaces e módulos funcionais (ITU-T, 2018). A NG-RAN consiste em um conjunto de estações rádio base (conhecidos como gNBs). O gNB incorpora três principais módulos funcionais: a Unidade Centralizada (*Centralized Unit - CU*), a Unidade Distribuída (*Distributed Unit - DU*) e a Unidade de Rádio (*Radio Unit - RU*), as quais podem ser implementadas de diferentes maneiras (ITU-T, 2018).

A NG-RAN foi concebida como uma arquitetura lógica modular, sua implementação pode ocorrer de diferentes maneiras de acordo com os requerimentos e necessidades das operadoras. Sua estrutura consiste em um conjunto de gNBs conectadas ao Core da rede 5G através da *interface* NG. Os gNBs podem consistir em uma Unidade Centralizada (*gNB-Centralized Unit - gNB-CU*) e uma Unidade Distribuída (*gNB - Distributed Unit - gNB-DU*) (NGOF, 2018). Estas unidades podem ser interconectadas através de uma interface Xn, como apresentadas na Figura 4.

A CU processa os protocolos que não operam em tempo real e as DUs processam os protocolos de nível PHY e serviços que operam em tempo real (ITU-T, 2018). As gNB-CU e gNB-DU podem ser interconectadas através de uma *interface* lógica chamada de F1, onde um gNB-DU é conectado a apenas um gNB-CU (ITU-T, 2018).

**Figura 4 - Arquitetura do 3GPP para redes 5G**

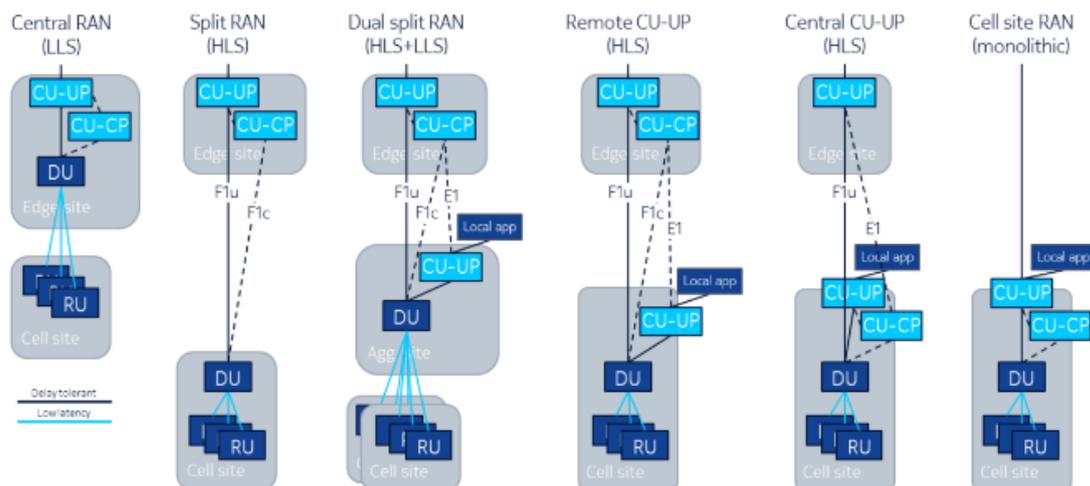


Fonte: Itu-T (2018).

Com base na arquitetura proposta é possível observar as diferentes topologias possíveis das redes de acesso NG-RAN (RAHIM et al., 2017). A estação base pode ser implantada como uma unidade monolítica implantada no local da célula, como nas

redes celulares clássicas, ou dividida entre a CU, a DU e a RU como é possível observar na Figura 5.

**Figura 5 - Flexibilidade da localização das unidades funcionais das redes RAN 5G**



Fonte: Ngof (2018).

A interface CU-DU é uma divisão de camada mais alta (HLS), que é mais tolerante ao atraso. A interface DU-RU, que ainda não está padronizada, é uma divisão de camada inferior (LLS), mais sensível à latência e exigente em largura de banda, mas que pode oferecer melhor desempenho de rádio em toda a área de cobertura devido ao ganho de coordenação (RAHIM et al., 2017). CUs, DUs e RUs podem ser implantados em locais como locais de células (incluindo torres, telhados e gabinetes e abrigos associados), locais de agregação de transporte e "pontos de extremidade" (por exemplo, escritórios centrais ou locais de troca locais) (ITU-T, 2018).

O novo ecossistema de acesso dos rádios 5G, deve ser capaz de sustentar o aumento na magnitude e pico da taxa de dados 3 vezes maior que os atuais e serviços sensíveis ao tempo irão exigir baixa latência de transmissão (RAHIM et al., 2017).

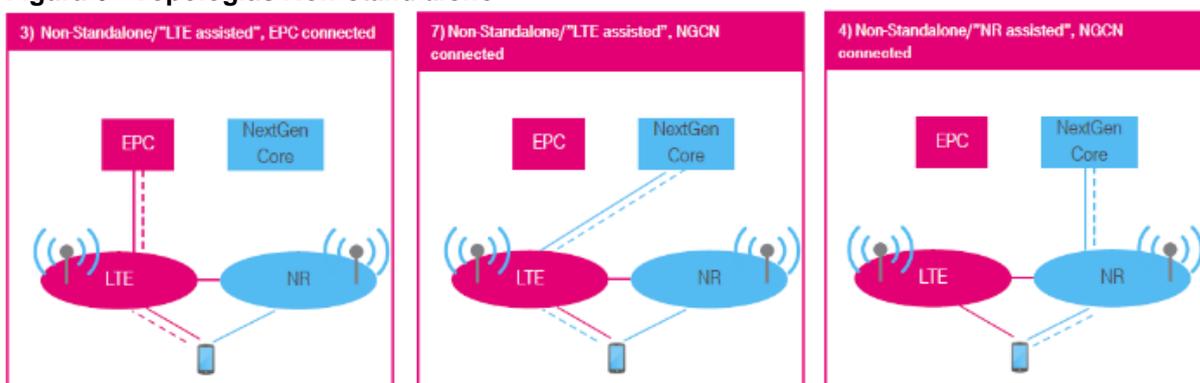
Em paralelo, a rede de transporte exigirá suporte de capacidades mais altas para aumentar o número de clientes de transporte, para suportar uma gama mais ampla de requisitos de desempenho (ROST et al., 2018).

### 2.3.3 Migração das Redes 4G para as Redes 5G

Evoluindo das redes de transporte 4G/LTE para a arquitetura dos novos Rádios 5G, a maior mudança é que as funções originais do BBU nas redes 4G são divididas em três partes. Unidade Central (CU) Unidade Distribuída (DU) e Unidade de Rádio Remota (RRU). Essas mudanças facilitam novos projetos de rede, assim como possibilitam a virtualização das redes RAN.

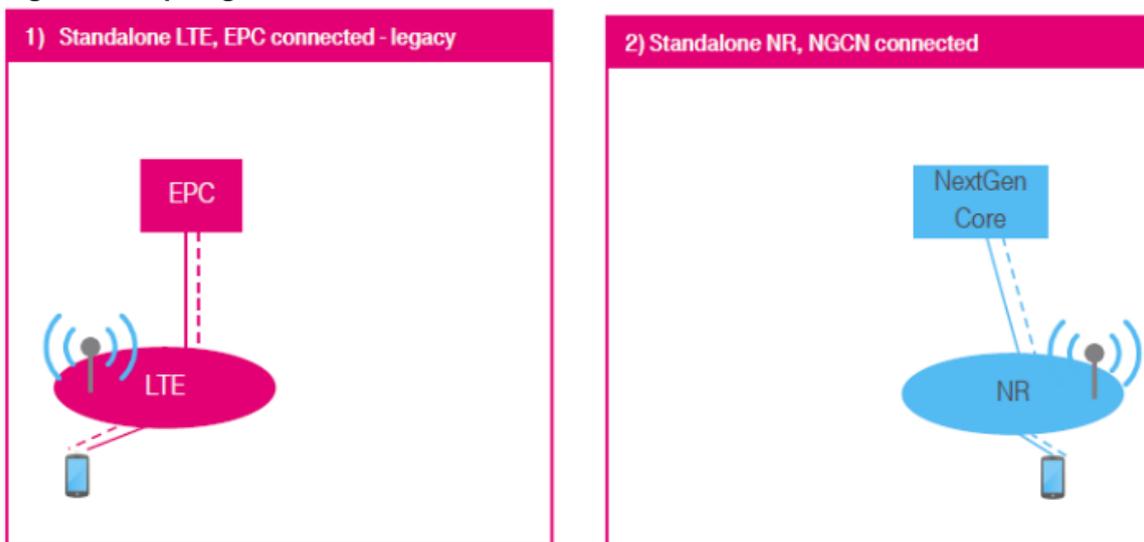
Em dezembro de 2017, o 3GPP descreveu em seu *Release 15* duas opções de implementação dos rádios 5G: *non-stand alone* e *stand alone*. A versão *non-stand alone* possibilita uma interconexão entre as estações base das redes 4G LTE (eNB) e as estações rádio base 5G NR, possibilitando conectividade dupla durante a implantação das redes (ITU-T, 2018). Nessa situação o *Evolved Packet Core* (EPC) das redes 4G se mantém conectado a estação base rádio 4G LTE e então é conectada a uma estação base rádio 5G NR (en-gNB). Em desenvolvimentos futuros também será possível conectar as estações base 4G LTE ao 5G NG core, como na Figura 6.

**Figura 6 - Topologias *Non-stand alone***



Fonte: Itu-T (2018).

Até que seja possível ter uma implementação completa do 5G, como apresentado na Figura 7.

**Figura 7 - Topologia *Stand-alone***

Fonte: Itu-T (2018).

### 3 REDES DE TRANSPORTE PARA O 5G

Uma vez mapeadas as principais mudanças que devem ocorrer no núcleo da rede e também nas redes de acesso, é possível analisar de forma mais profunda o impacto destas mudanças na constituição das redes de transporte.

#### 3.1 ELEMENTOS DAS REDES DE TRANSPORTE

Com as alterações no *core* da rede 5G e nas redes de acesso, as redes de transporte necessitam ser adaptadas para suportar os serviços eMBB, mMTC e URLLC (MARKS, 2018).

De forma geral as redes de transporte podem ser divididas em *Fronthaul*, *Midhaul* e *Backhaul*, esta divisão é baseada na localização da rede de transporte e de acordo com os elementos que está interconectando.

As redes de transporte denominadas de *Fronthaul* são responsáveis pela conexão das unidades remotas de rádio (RRU) com as unidades de rádio distribuídas DU (interfaces CPRI e eCPRI).

As redes de transporte *Midhaul* são um conceito mais recente, e tratam-se da conexão rede entre DU e CU (interface F) em topologias em que estes elementos estão separados geograficamente.

Redes *Backhaul* são as aquelas entre o CU e 5G CN (interface NG) e entre CUs (interface Xn) a CU ou estação rádio base, também responsáveis pelas conexões com centros de processamento de dados (ITU-T, 2018).

Em todas as partes das redes 5G de transporte, a transmissão na direção norte-sul é responsável pela maior quantidade de tráfego na rede, enquanto as transmissões Leste-Oeste representam apenas uma pequena parte do tráfego (NGOF, 2018).

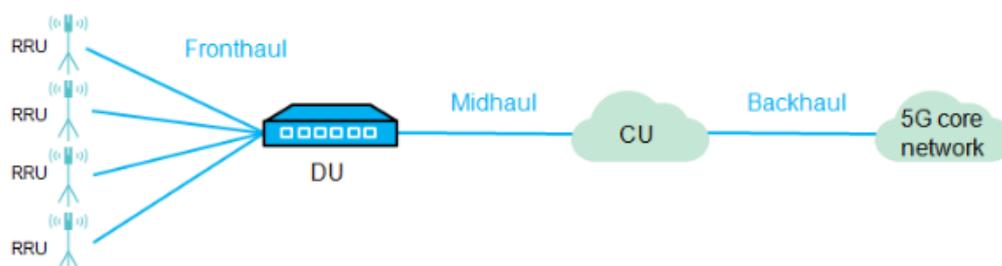
Em alguns casos, de acordo com a topologia adotada na construção da rede, o CU e DU são co-localizados e formam gNB. Nesses casos, onde a topologia é centralizada, existem somente o *Fronthaul* e *Backhaul*, onde RRU para gNB é *Fronthaul* e gNB para 5G CN é *Backhaul*. É possível observar as duas topologias das redes de transporte nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Arquitetura com o CU/DU integrados



Fonte: Ngof (2018).

Figura 9 - Arquitetura com o CU e DU separados



Fonte: Ngof (2018).

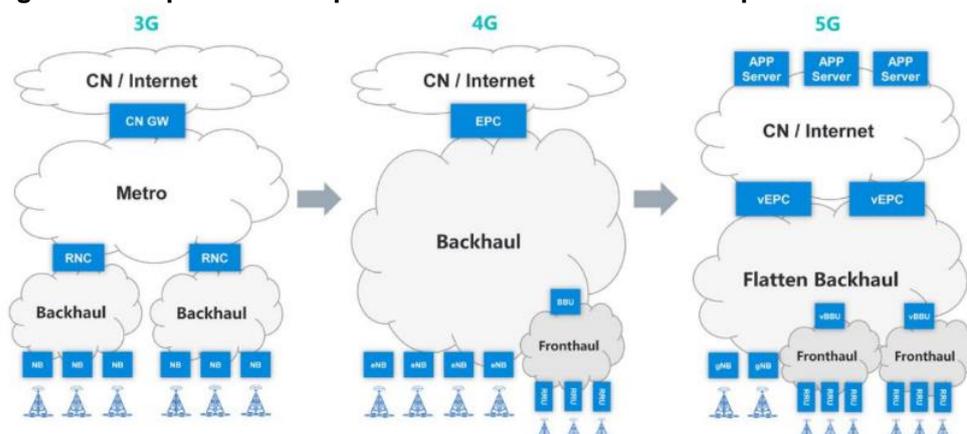
### 3.1.1 Migração das Redes de Transporte 3G/4G para 5G

Quando comparada as redes 3G/4G, as redes 5G possuem a separação completa do plano de controle e do plano de usuário, possibilitando a virtualização de serviços e o posicionamento do core mais próximo do usuário. Essa mudança busca a redução da latência na transmissão de dados.

O uso de redes de acesso Ng-RAN flexibiliza a implantação da rede, virtualização e *mobile edge computing*, no entanto como 5G utiliza um espectro de radiofrequência de 3.5 GHz e acima de 6 GHz o tamanho da cobertura das células é reduzido tornando necessário aumentar a densidade de células.

Estas mudanças chaves resultam em mudanças diretas nas redes de transporte, como é possível observar na Figura 10.

Figura 10 - Impacto das arquiteturas 5G nas redes de transporte



Fonte: Fuchuan (2018).

Como resultado das mudanças, deve ocorrer a planificação do *backhaul* devido a aproximação do core da rede aos usuários finais, visando reduzir a latência. E com aumento da quantidade de células nas redes 5G o número de redes *fronthaul* e *midhaul* crescerá, impondo novos critérios de coordenação e divisão de funções nessas redes (FUCHUAN, 2018).

### 3.2 REQUISITOS PARA AS REDES DE TRANSPORTE

Devido ao aumento nas taxas de dados nas redes 5G torna-se impraticável continuar com o mesmo modelo de redes de transporte de gerações anteriores. Visando compreender os requisitos das redes de transporte o 3GPP publicou em seu release TR 38.801 as especificações técnicas para as interfaces da rede 5G RAN que são conectadas as redes de transporte (ITU-T, 2018).

Utilizar a interface CPRI convencional na implantação das redes *fronthaul* não é viável devido ao alto requerimento de banda, tornando necessário fazer uma divisão de camada superior para alcançar os requisitos de banda e melhorar a latência (BARTELT et al., 2017). No entanto, com divisões de nível superior menos funções de processamento podem ser centralizadas e assim torna-se crítica a avaliação função vs arquitetura levando em conta a viabilidade técnica e custo benefício entre as taxas de transferência, latência e centralização funcional.

Buscando o equilíbrio na divisão do processamento do *fronthaul*, diversos órgãos normatizadores iniciaram a identificação do melhor ponto de divisão no processamento das ondas de rádio para reduzir substancialmente a largura de banda necessária sem comprometer a centralização funcional (ITU-T, 2018).

Nas redes de transporte *midhaul*, no estágio inicial da implantação da rede 5G, a relação entre um DU e uma CU é relativamente fixa. Geralmente, cada DU é conectado a uma CU fixa, portanto o endereçamento IP e o encaminhamento não são necessários em um primeiro momento. No entanto, após a implementação da cloudificação da CU no futuro, proteção de redundância, expansão de capacidade dinâmica e recursos de compartilhamento de carga devem ser fornecidos para garantir que uma DU possa ser conectada de forma flexível a dois ou mais conjuntos de CUs (BARTELT et al., 2017). Nesse caso, a rede de *midhaul* entre a DU e a CU deve suportar as funções de encaminhamento e encaminhamento de IP (ITU-T, 2018).

Como mencionado anteriormente, o tráfego de rede ocorre principalmente em sentido vertical, *fronthaul-backhaul* e o tráfego Leste-Oeste é responsável por apenas uma pequena porção do tráfego total (FUCHUAN, 2018). Isto ocorre porque nem sempre existe uma conexão entre um DU/CU e outros DUs/CUs. E quando presente a conexão só existe entre um DU / CU e as DUs / CUs de suas células vizinhas. Isso significa que os fluxos de serviço são relativamente simples e estáveis, e a rede de transporte precisa apenas fornecer funções simplificadas de endereçamento e encaminhamento de IP (NGOF, 2018).

Em redes 5G, existem requisitos de conexão entre uma CU e o *core* da rede principal (interface S1) e entre CUs adjacentes (interface eX2) através do *backhaul*. O tráfego da interface eX2 entre as CUs inclui principalmente tráfego de agregação de operadora (CA) entre locais e tráfego coordenado de transmissão/recepção multiponto (CoMP). Geralmente, é considerado como 10 a 20% do tráfego S1 (ITU-T, 2018).

Se as conexões estáticas forem configuradas manualmente, a carga de trabalho de configuração é pesada e a flexibilidade é ruim. Portanto, as redes de *backhaul* devem suportar endereçamento e encaminhamento de IP (BARTELT et al., 2017). Além disso, para atender aos requisitos de latência ultrabaixa em cenários de aplicação de URLLC, a arquitetura CU / DU integrada deve ser implementada para garantir que a rede de transporte contenha apenas as partes *fronthaul* e *backhaul*. As redes de transporte com DU / CU integrada implantadas também exigem recursos de endereçamento e encaminhamento de IP (FUCHUAN, 2018).

Dessa forma cada uma das interfaces de rede 5G/IMT2020 são utilizadas para solicitar serviços de transporte, e para que esse ocorra de forma satisfatória é necessário garantir parâmetros como largura de banda e latência (BARTELT et al., 2017).

### 3.2.1 Largura de Banda

Largura de banda é o primeiro indicador chave para o transporte 5G. As bandas Sub6G e ultra alta frequência serão adicionadas ao espectro 5G. A banda de frequência Sub6G é de 3,4 GHz a 3,6 GHz, que pode fornecer espectro contínuo de 100-200 MHz (NGOF, 2018). Os recursos do espectro da banda de frequência ultraelevada acima de 6 GHz são abundantes e seus recursos disponíveis podem atingir 800 MHz contínuos (MARKS, 2018). As faixas de frequência mais altas, os espectros mais amplos e as novas tecnologias de interface aérea aumentarão muito os requisitos de largura de banda das estações base de 5G (BARTELT et al., 2017). Espera-se que eles apresentem requisitos de largura de banda que sejam mais de 10 vezes superiores aos do LTE (ITU, 2018). O Quadro 2, lista os requisitos estimados de largura de banda de uma estação base típica 5G S111.

**Quadro 2 - Largura de Banda para as redes de transporte**

At F1 interface	From [4], option 2 DL <i>4016 Mb/s</i> ; UL <i>3024 Mb/s</i>
At Fx interface	From [4], option 7a, 7b DL: <i>10.1~22.2 Gb/s</i> <i>37.8~86.1 Gb/s</i> UL: <i>16.6~21.6 Gb/s</i> <i>53.8~86.1 Gb/s</i>
At Xn interface	25Gb/s-50Gb/s
At NG interface	For CU: 10Gb/s-25Gb/s For CN: 100+Gb/s
Fronthaul	Dependent on number of CPRI and eCPRI interfaces. See also Table 1 in 5.3.1. 10Gb/s-825Gb/s
Midhaul and Backhaul	Varies with number of interfaces. 25Gb/s-800Gb/s
Base station (gNB)	These relate to a combination of NG and Xn interfaces, and reflects the capacity based on a gNB for 3 cells with 64T 64R antennas for low frequency and 2T 2R for high frequency. Peak: 6.14Gb/s for 5G LF (low frequency) 19.8Gb/s for 5G HF (high frequency) Average: 2.97Gb/s for 5G LF; 9.9Gb/s for 5G HF

Fonte: Itu-T (2018).

### 3.2.2 Latência

A arquitetura 5G RAN varia de acordo com as especificações de latência, o que influencia na construção das redes de transporte. Redes onde a CU/DU são integrados são preferíveis para as aplicações uRLLC e devem estar de acordo com as especificações presentes no Quadro 3 (ITU-T, 2018).

**Quadro 3 - Requisitos de Latência**

At F1 interface	From [4] option 2 1.5 ~10 msec
At Fx interface	100, 125, 250 and 500 $\mu$ sec (a few hundred $\mu$ sec)
Fronthaul	< 100 $\mu$ sec
UE-CU (eMBB)	4ms, from [12]
UE-CU (uRLLC)	0.5ms, from [12]

Fonte: Itu-T (2018).

### 3.2.3 Alcance

Além da largura de banda e da latência, devem ocorrer mudanças nas distâncias de cada um dos tipos de rede de transporte. Baseado nas contribuições do SG15 foram estimados os intervalos de distância presentes no Quadro 4 (NGOF, 2018).

**Quadro 4 - Alcance das redes de transporte**

Fronthaul	1~20km
Midhaul	20~40km
Backhaul	1~10km Aggregation: 5-80km Core: 20~300km

Fonte: Itu-T (2018).

## 4 CONCLUSÃO

Com o aumento do consumo de dados móveis devido aos avanços tecnológicos a rede móvel vem evoluindo para oferecer maiores larguras de banda e menores latências.

Para que os avanços sejam possíveis Institutos normativos como o ITU normatizam o uso de novos espectros de rádio para as redes de nova geração. As redes em desenvolvimento atual, redes de 5ª geração, consistem em uma evolução não apenas na largura de banda, mas também em uma gama de serviços diferenciados.

As interfaces 5G tem sido desenvolvida com o foco em três serviços principais o eMBB, uRLLC e o mMTC. Onde o eMBB pode ser considerado uma extensão direta do serviço de banda larga 4G, o URLLC suporta transmissões de baixa latência, de pequenos containers, com alta confiabilidade, de um grupo limitado de dispositivos e o mMTC suporta dispositivos IoT de forma massiva e é ativado em períodos intermitentes.

Através destes serviços acredita-se que o crescimento da banda consumida pelas redes móveis deve aumentar entre 500 e 1000 vezes, e que a experiência de um usuário comum deve ter um aumento em largura de banda entre 10 e 100 vezes quando comparados com as redes 4G.

No entanto, para viabilizar este progresso não basta apenas definir o espectro de rádio a ser utilizado, é necessário rever os elementos da rede e prover uma infraestrutura capaz de comportar os requisitos impostos por esses serviços.

As alterações se iniciam no *Core* da rede, que devido as aplicações heterogêneas dos pacotes da rede necessita ser flexível e adaptável. Nas redes *core* 5G deve ocorrer a separação completa do plano de controle e do plano de usuário, além da possibilidade do uso de técnicas como *Software Defined Networking* (SDN), *Network Function Virtualization* (NFV) e *Networking Slicing*.

Essa abordagem permite alocar diferentes taxas, capacidades e cobertura de acordo com a demanda criando diferentes instancias virtuais de rede dedicadas para cada um dos serviços

Outro elemento que sofre grandes alterações quando comparado as redes de gerações anteriores são as RANs. No 5G os conceitos de separação de funções e centralização de controle tornam-se essenciais devido ao aumento da densidade das

células e os diferentes perfis de serviços. Essa mudança altera significativamente a arquitetura das redes, o grupo de estudos 3GPP propôs o modelo de arquitetura 5G RAN conhecido como NG-RAN e especificou em seu Release 15 uma nova terminologia, interfaces e módulos funcionais.

A NG-RAN consiste em um conjunto de estações rádio base (conhecidos como gNBs). O gNB incorpora três principais módulos funcionais: a Unidade Centralizada (*Centralized Unit - CU*), a Unidade Distribuída (*Distributed Unit - DU*) e a Unidade de Rádio (*Radio Unit - RU*), as quais podem ser implementadas de diferentes maneiras.

Com as alterações no *core* e nas RANs as redes de transporte existentes, cuja função é interligar as diferentes interfaces das redes móveis, não são mais capazes de suportar estas demandas sem que passem por mudanças.

As redes de transporte tradicionalmente são divididas em *Fronthaul*, *Midhaul* e *Backhaul*, esta divisão é baseada na localização da rede de transporte e de acordo com os elementos que está interconectando.

Para que essas passem a suportar os serviços eMBB, mMTC e URLLC deve ocorrer a planificação das redes *backhaul* devido a aproximação do *core* da rede dos usuários finais para reduzir a latência. E o crescimento das redes *fronthaul* e *midhaul* devido as novas divisões de redes e a maior quantidade de células.

Analisando as interfaces conectadas as redes de transporte também são detectadas necessidades de mudança. A interface CPRI conectada as redes *fronthaul* em sua implantação tradicional, inviabilizariam as redes 5G devido sua alta necessidade de banda. Para contornar o problema é necessário efetuar divisões de funções no processamento do espectro RF. Atualmente a melhor opção ainda se encontra em discussão nos fóruns e grupos de estudos focados nas redes de transporte.

As outras divisões das redes e suas conexões com as interfaces já se encontram definidas. O *midhaul*, no estágio inicial da implantação da rede 5G, possui uma relação fixa entre um DU e uma CU. O mesmo acontece com o *backhaul* entre uma CU e o *core* da rede principal (interface S1) e entre CUs adjacentes (interface eX2). Tanto o *midhaul* e o *backhaul* devem suportar endereçamento e encaminhamento IP para proteção de redundância, expansão de capacidade dinâmica e recursos de compartilhamento de carga.

Dessa forma cada uma das interfaces de rede 5G/IMT2020 são utilizadas para solicitar serviços de transporte, e para que esse ocorra de forma satisfatória é necessário garantir parâmetros como largura de banda e latência.

Tendo como base estudo feito em cada uma das interfaces presentes nas redes 5G, o *fronthaul* deve ser projetado para suportar taxas entre 10 Gb/s e 825 Gb/s dependendo do número de interfaces CPRI e *midhaul* e *backhaul* entre 25 Gb/s e 800 Gb/s dependendo do número de interfaces.

No quesito latência o *fronthaul* deve operar com latências menores que 100 ms e os demais elementos de acordo com o serviço utilizado, variando de 0.5 ms a 4 ms.

Assim, com um panorama geral do desenvolvimento das redes 5G no âmbito da normatização, arquitetura e interfaces é possível compreender as mudanças necessárias nas redes de transporte para suportar a gama de serviços heterogêneos que devem trafegar por meio dessas.

A partir dos requisitos é possível analisar quais meios podem ser utilizados para a construção das redes de transporte, topologias possíveis e o método com melhor custo benefício.

## REFERÊNCIAS

AL-DULAIMI, Anwer; HU, Rose Qingyang. **New considerations for 5G Wireless Systems**. IEEE Vehicular Technology Magazine, v. 13, n. 2, p. 4-6, jun. 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8361819>>. Acesso em: 27 out. 2018.

BARTELT, Jens; et al. **5G transport network requirements for the next generation fronthaul interface**. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, mai. 2017. Disponível em: <<https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-017-0874-7>>. Acesso em: 23 set. 2018.

BLANCO, Bego; et al. **Technology pillars in the architecture of future 5G mobile networks: NFV, MEC and SDN**. Computer Standards & Interfaces, v. 54, p. 216-228, nov. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920548916302446>>. Acesso em: 27 out. 2018.

CISCO. **Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2016-2021**. Copyright© Cisco Mobile VNI, publicado em: 28 fev. 2017. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>>. Acesso em: 04 set. 2018.

FUCHUAN, Zhao. **Challenges and trends for 5G transport**. Copyright© 1998-2018 ZTE Corporation, publicado em: 10 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2018/2-en/Expert-Views/1>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

ITU-T. **Transport network support of IMT-2020/5G**. International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), publicado em: 09 fev. 2018. Disponível em: <[https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2018-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2018-PDF-E.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2018.

JABER, Mona; et al. **5G backhaul challenges and emerging research directions: A survey**. IEEE access, v. 4, p. 1743-1766, abr. 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7456186>>. Acesso em: 20 set. 2018.

KABALCI, Yasin. **5G Mobile Communication Systems: Fundamentals, challenges, and key technologies**. In: Smart Grids and Their Communication Systems. Springer, Singapore, 2019. p. 329-359.

LUONG, Nguyen Cong; et al. **Applications of economic and pricing models for resource management in 5G wireless networks: A survey**. IEEE Communications Surveys & Tutorials, out. 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1710.04771>>. Acesso em: 27 set. 2018.

MARKS, Roger. **5G standards in IMT-2020 and elsewhere**. IEEE Standards University, publicado em: 21 mar. 2018. Disponível em <<https://www.standardsuniversity.org/e-magazine/march-2018-volume-8-issue-1-5g-802-11/5g-standards-in-imt-2020-and-elsewhere/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MCKETTA, Isla. **The worlds internet speeds increased more than 30% in 2017. Are you keeping up?** Copyright© SPPEDETEST, publicado em: 12 dez. 2017. Disponível em <<https://www.speedtest.net/insights/blog/global-speed-2017/>>. Acesso em: 04 set. 2018.

NGOF. **5G-Oriented OTN Technology**. Next - Generation Optical transport network Forum (NGOF), publicado em: 28 mar. 2018. Disponível em: <<http://ngof.net/download/5G.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

OLIVEIRA, Lidiano A. N.; ALENCAR, Marcelo S.; LOPES, Waslon Terllizzie A. **Evolução da arquitetura de redes móveis rumo ao 5G**. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, v. 8, n. 2, p. 43-50, out. 2018. Disponível em: <<http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/104>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

POPOVSKI, Petar; et al. **5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view**. IEEE CTW @ Miramar Beach, FL, USA, mai. 2018. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1804.05057>>. Acesso em: 17 out. 2018.

RAHIM, Abdul; et al. **Comparative study of 5G Mobile System**. Journal of Information Communication Technologies and Robotics Applications (JICTRA), v. 3, n. 1, p. 85-101, ago. 2017. Disponível em: <<http://nicerjcs.com/index.php/cs/article/view/14>>. Acesso em: 25 out. 2018.

RATASUK, Rapeepat; et al. **LTE-M evolution towards 5G massive MTC**. In: 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). p. 1-6. dez. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8269112>>. Acesso em: 20 out. 2018.

ROST, Peter; et al. **Mobile network architecture evolution toward 5G**. IEEE Communications Magazine, v. 54, n. 5, p. 84-91, mai. 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7470940>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SHAFI, Mansoor; et al. **5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 35, n. 6, p. 1201-1221, abr. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7894280>>. Acesso em: 25 out. 2018.

TUDZAROV, Aleksandar; GELEV, Saso. **Requirements for next generation business transformation and their implementation in 5G architecture**. International Journal of Computer Applications, v. 162, n. 2, p. 31-35, 2017. Disponível em: <<https://www.ijcaonline.org/archives/volume162/number2/27216-2017913273>>. Acesso em: 15 out. 2018.

WANG, Jian; et al. **Spectral Efficiency Improvement with 5G Technologies: Results from field tests**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 35, n. 8, p. 1867-1875, ago. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7944631>>. Acesso em: 15 set. 2018.

WEISSBERGER, Alan. **ITU-R agrees on key performance requirements for IMT-2020="5G"**. Copyright© 2018, IEEE Communications Society, publicado: 02 mar. 2017. Disponível em: <<http://techblog.comsoc.org/2017/03/02/itu-r-agrees-on-key-performance-requirements-for-imt-20205g/>>. Acesso em: 25 out. 2018.