

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

CINDY EMANUELI DA SILVA TEIXEIRA
LUÃ BARROS DA SILVA
TIAGO MORALES CYPRIANO

CIDADES INTELIGENTES COM INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO 5G

Belém

2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

CINDY EMANUELI DA SILVA TEIXEIRA
LUÃ BARROS DA SILVA
TIAGO MORALES CYPRIANO

CIDADES INTELIGENTES COM INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO 5G

Trabalho de Curso na modalidade Monografia, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA, sob orientação da Professora MSc. Michelle Bitar Lelis dos Santos.

Belém

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca do Cesupa, Belém - PA

Teixeira, Cindy Emanuelli da Silva.

Cidades inteligentes com infraestrutura de comunicação 5G / Cindy Emanuelli da Silva Teixeira, Luã Barros da Silva, Tiago Morales Cypriano; orientação de Michelle Bitar Lelis dos Santos, 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) – Centro Universitário do Pará, Belém, 2018.

1. Cidades inteligentes. 2. Dispositivos móveis. 3. Conexão. I. Silva, Luã Barros da. II. Cypriano, Tiago Morales. III. Santos, Michelle Bitar Lelis dos (orient.). IV. Título.

CINDY EMANUELI DA SILVA TEIXEIRA

LUÃ BARROS DA SILVA

TIAGO MORALES CYPRIANO

CIDADES INTELIGENTES COM INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO 5G

Trabalho de Curso na modalidade Monografia apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA.

Data da Defesa: 07/05/2018

Banca Examinadora:

Prof. Orientadora MSc. Michelle Bitar Lelis dos Santos - CESUPA

Prof. Esp. Itamar Jorge Vilhena de Brito - CESUPA

Prof. Dr. Marcos Paulo Alves Sousa - CESUPA

Belém

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por sempre me guiar pelos melhores caminhos em meio aos obstáculos da vida.

Agradeço ao meus pais, Cimone e Rickson, por todo amor, apoio e dedicação para que eu tivesse a melhor educação possível ao longo da vida.

Agradeço ao meu irmão, Felipe, por sempre me incentivar a realizar tudo da melhor maneira possível.

Agradeço aos meus padrinhos, Luzia Alda e Jorge, por participarem deste trajeto, me apoiando, me ajudando e pela convivência desses anos de curso.

Agradeço aos meus amigos, em especial ao Flávio, pelas conversas e pelo apoio ao longo do curso e da vida.

Agradeço as professoras Cindy, Eliane, Polyana e Michelle, por todos os ensinamentos adquiridos na graduação.

A todos, o meu muito obrigada.

Cindy Teixeira.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, e especial a minha mãe Mariluce Oliveira Barros, que durante toda a minha jornada de estudos sempre me apoiou, e que se sacrificou bastante para me dar a oportunidade de estudar e ter uma boa educação.

Ao professor e coordenador Itamar Brito, por sempre estar presente em todas as situações durante o curso, e estar sempre disposto a ajudar de todas as formas mesmo quando não é sua obrigação como coordenador e professor.

A professora Michelle Bitar, por aceitar ser a orientadora desse trabalho, e estar sempre presente ajudando e incentivando a fazer o melhor que podemos. Sua participação nesse trabalho foi essencial para o seu término.

A professora Andrea Araujo, por estar sempre presente nas orientações da conclusão desse trabalho, e estar sempre disposta a ajudar em todos os momentos que precisamos.

E por último, um agradecimento especial aos meus amigos Cindy Emanuelli e Tiago Morales, que foram meus companheiros na construção desse trabalho, e durante toda a jornada do curso, gostaria de agradecer pela grande amizade que construímos ao longo desses anos, pelo companheirismo de cada um e por sempre me ajudarem em todas as situações, sem eles esse trabalho não existiria.

Luã Barros.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais, Solange Maria Morales Cypriano e Renato Cypriano, por sempre me apoiarem e me darem suporte em todas as minhas decisões, por acreditarem no meu potencial, por me darem a oportunidade de sair do interior e vir para a capital para ter um melhor estudo e por terem me ensinado os valores da vida, fazendo eu me tornar quem eu sou hoje. Sem eles nada disso seria possível.

Gostaria de agradecer também ao meu irmão, André Morales Cypriano, por me ajudar e me dar suporte em todos os momentos, mesmo distante fisicamente por morar em outra cidade, sempre está disponível para tudo que eu precisar.

Agradecer a minha família, que estiveram presentes em todos os momentos da minha vida, meus tios, tias, primos e primas.

Agradecer também a todos os meus amigos de Paragominas, que sempre estão comigo, e se fizeram muito importante nessa jornada, me apoiando e me dando forças para continuar. Os amigos de sempre e para sempre.

Aos amigos que fiz em Belém, que foram muito importantes também, me ensinaram muitas coisas e se fizeram presente na minha vida durante essa jornada.

A professora Michelle Bitar, por ser nossa orientadora nesse trabalho e por me fazer gostar mais ainda da área de Telecomunicações, sempre ensinando e ajudando no que fosse preciso, e sempre disponível para conversas fora de hora.

A professora Polyana Fonseca que foi nossa coordenadora e professora, que sempre dedicou seu tempo a nos ajudar no que fosse preciso, e sempre foi muito amiga de todos os alunos.

E por último, agradecer ao Luã Barros, que foi um dos integrantes desse trabalho, que foi um grande amigo e que esteve presente durante o curso, sempre ajudando e sendo prestativo quando se tinha alguma dificuldade.

Tiago Morales Cypriano.

“A verdadeira violência é aquela que fazemos com nós mesmos, quando temos medo de ser quem realmente somos.”

Nomi Marks (Sense8)

RESUMO

Em uma cidade inteligente, os automóveis inteligentes poderiam se comunicar com os smartphones dos pedestres, bem como semáforos e outros carros para antecipar as condições de tráfego e até mesmo evitar colisões, logo uma grande proporção das comunicações que ocorrerão será entre máquinas, e não apenas humanos. Além disso, com o tráfego global de dados móveis esperado crescer oito vezes até o final de 2023, há necessidade de uma tecnologia mais eficiente, taxas de dados mais altas e utilização de espectro. Novos aplicativos como streaming de vídeo 4K / 8K, realidade virtual e aumentada e casos de uso industrial emergentes também exigirão maior largura de banda, maior capacidade, segurança e menor latência, e isso só será possível com o uso do 5G. Já existem várias iniciativas de cidades inteligentes isoladas em operação que oferecem uma pista sobre o que está por vir com o 5G e, este trabalho tem por finalidade demonstrar o funcionamento destas cidades inteligentes equipadas com recursos 5G e os requisitos necessários para o seu funcionamento, bem como uma proposta teórica para a implantação de semáforos inteligentes na cidade de Belém, que trará um melhor funcionamento do trânsito da cidade e uma nova concepção de desempenho, trazendo novas oportunidades para pessoas, negócios, saúde e transporte.

Palavras-chave: 5G. Cidades inteligentes. Comunicação. Conexão. Implementação. Latência. Requisitos. *Throughput*.

ABSTRACT

In a smart city, intelligent cars could communicate to smartphones, as well as traffic lights and other cars to anticipate traffic conditions and even to avoid collisions, it means that a large proportion of communication will take place between machines, not humans. In addition, with global mobile data traffic expected to grow eight times until the end of 2023, there is a need for more efficient technology, higher data rates and better spectrum utilization. New applications such as 4K / 8K video streaming, virtual reality and emerging industrial use cases will require greater bandwidth, increased capacity, security and lower latency, and this will only be possible with the use of 5G networks. There are already several initiatives of isolated intelligent cities in operation that offer a clue about what is to come with 5G technology and this work aims to demonstrate the operation of these intelligent cities using 5G resources and the requirements for its operation, as well as a theoretical proposal for the implementation of intelligent traffic lights in the city of Belém, which will bring a better operation of the city traffic and a new design in the city performance, bringing new opportunities for people, businesses, health and transportation.

Keywords: 5G. Communication. Connection. Implementation. Latency. Smart cities. Requirements. Throughput.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de uma Cidade Inteligente	24
Figura 2 - Arquitetura padrão para uma Cidade Inteligente	27
Figura 3 - Bases de uma Cidade Inteligente.....	28
Figura 4 - Fluxo de trabalho de um <i>Big Data Analytics</i>	31
Figura 5 - Arquitetura IoT representada em camadas.	37
Figura 6 - Arquitetura 5G	39
Figura 7 - Relação Latência x Taxa de Dados.....	42
Figura 8 - Tecnologias utilizadas no 5G NR	44
Figura 9 - Arquitetura Phantom Cell com divisão de C/U Plane	46
Figura 10 - Arquitetura Evolved Packet Core (EPC).....	47
Figura 11 - Arquitetura de Migração do Core 4G para o Core 5G	48
Figura 12 - Arquitetura 5G TS 501.23.....	49
Figura 13 - Arquitetura NFV.....	51
Figura 14 - Fatiamento de rede 5G implementado na mesma infraestrutura.....	53
Figura 15 - Arquitetura SDN	54
Figura 16 - Primeiro teste em campo em escala 5G.....	57
Figura 17 - Antena com Tecnologia “ <i>Massive-MIMO</i> ”	59
Figura 18 - Navio com rede 5G.....	60
Figura 19 - Comparação de Redes com 5G	63
Figura 20 - Conceito de cidade inteligente em 5G.....	64
Figura 21 - Dispositivos que monitoram a gestão da saúde	68
Figura 22 - <i>Data Center</i> da Ericsson	69
Figura 23 - Conexão de um carro a rede 5G	70
Figura 24 - Demonstração velocidades de transmissão na rede 5G	71
Figura 25 - Tecnologia para pagamento de passagem com cartão.....	73
Figura 26 - Sistema Smart Grids	74
Figura 27 - Conceitos Fundamentais.....	75
Figura 28 - Representação das vias utilizadas na proposta	76
Figura 29 - Infraestrutura 5G para monitoramento de trânsito.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios em cada setor	34
Tabela 2 - Requisitos para taxa de dados e capacidade	41
Tabela 3 - Requisitos de Infraestrutura 5G	76

LISTA DE SIGLAS

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
5G	5ª Geração de Telefonia Móvel
AR	<i>Augmented reality</i>
APIs	<i>Application Programming Interface</i>
AMF	<i>Access and Mobility Management Function</i>
AUSF	<i>Authentication Server Function</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
BT	<i>British Telecommunications</i>
CIOC	Centro Integrado de Operação e Controle
CUCC	Centro Único de Coordenação e Controle de Emergências
CO2	Dióxido de Carbono
DL	<i>DownLink</i>
D2D	<i>Device To Device</i>
E2E	<i>End-to-End</i>
EE	<i>Everything Everywhere</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
f-OFDM	<i>Filtered-Orthogonal frequency-division multiplexing</i>
GERESOL	Gerenciamento de Resíduos Sólidos
HSS	<i>Home Subscriber Server</i>
HD	<i>High Definition</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ICT	<i>Information and Communication Technology</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IOCC	<i>Integrated Operating Control Center</i>
Inatel	Instituto Nacional de Telecomunicações
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE-A	<i>Long Term Evolution Advanced</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>

mMTC	<i>Massive Machine-Type Communications</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
M-MIMO	<i>Massive – Multiple Input Multiple Output</i>
MME	<i>Mobility Management Entity</i>
MoU	<i>Memorandum of Understanding</i>
MWC	<i>Mobile World Congress</i>
NFVI	<i>Network Functions Virtualization Infrastructure</i>
NFVIPoPs	<i>Network Function Virtualization Infrastructure Point of Presence</i>
NGMN	<i>Next Generation Mobile Networks</i>
NFV	<i>Network Functions Virtualization</i>
NR	<i>New Radio</i>
PCRF	<i>Policy and Charging Resource Function</i>
PCC	<i>Política e Controle de Carga</i>
PGW	<i>Packet Gateway</i>
PCF	<i>Policy Control Function</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
RAN	<i>Radio Access Network</i>
RSMA	<i>Resource Spread Multiple Access</i>
SDN	<i>Software Defined Networks</i>
SGW	<i>Serving Gateway</i>
SCMA	<i>Sparse Code Multiple Access</i>
SBA	<i>Service Based Architecture</i>
SMF	<i>Session Management Function</i>
TIC	<i>Tecnologia da Informação e Comunicação</i>
TRXs	<i>Transceiver</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
UL	<i>UpLink</i>
UIT	<i>União Internacional das Telecomunicações</i>
UEs	<i>User Equipment's</i>
URLLC	<i>Ultra-Reliable and Low-Latency Communications</i>
UPF	<i>User Plane Function</i>
UDM	<i>Unified Data Management</i>
VM	<i>Virtual Machine</i>

VNFs	<i>Virtual Network Functions</i>
VoLTE	<i>Voice Over LTE</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
WTF-15	<i>World Radiocommunication Conference 2015</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
1.2 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo geral	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.1 METODOLOGIA.....	22
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 CIDADES INTELIGENTES	24
2.1 ARQUITETURA DA CIDADE INTELIGENTE	25
2.1.1 Componentes de uma Cidade Inteligente	27
2.1 <i>BIG DATA ANALYTICS</i>	30
2.1.1 Funcionamento do <i>Big Data Analytics</i>	30
2.1.2 Requisitos de um <i>Big Data Analytics</i> para Cidades Inteligentes	32
2.1.3 O Papel do <i>Big Data Analytics</i> em Cidades Inteligentes	33
2.2 INTERNET DAS COISAS.....	34
2.2.1 Características	35
2.2.2 Arquitetura IoT	36
3 REDES MÓVEIS 5G	38
3.1 ARQUITETURA 5G	38
3.2 <i>THROUGHPUT</i>	41
3.3 LATÊNCIA.....	41
3.4 BANDAS DE FREQUÊNCIA	42
3.4.1 Adequação das bandas móveis existentes	42
3.4.2 Requisitos adicionais de espectro de rede	43
3.5 SISTEMAS DA REDE 5G.....	43
3.5.1 RAN (<i>Radio Access Network</i>)	43

3.5.2 Transmissão 5G	45
3.6 <i>EVOLVED PACKET CORE (EPC) E 5G CORE</i>	46
3.7 <i>SOFTWARE DEFINED NETWORKING E NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION</i>	50
3.7.1 NFV (NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION)	50
3.7.1.1 <i>Fatiamento de Rede (Network Slicing)</i>	52
3.7.2 SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORKING)	53
3.8 TESTES COM 5G EM AMBIENTES CONTROLADOS.....	55
3.8.1 A primeira demonstração de serviço de realidade virtual sem fio baseada em tecnologia 5G implementado pela ZTE	55
3.8.2 Primeiro teste de campo do 5G na banda de 4,5 GHz	56
3.8.3 Campo de Avaliação para Verificar a Tecnologia de Coordenação de Banda Alta e Baixa de 5G	57
3.8.4 A primeira antena 5G do território de Matera	58
3.8.5 Rede de testes 5G fornecendo acesso à Internet para navios	59
3.9 5G NO BRASIL.....	60
4 A REDE MÓVEL 5G NAS CIDADES INTELIGENTES	63
4.1 BENEFÍCIOS DO 5G NAS CIDADES INTELIGENTES.....	64
4.2 CONECTIVIDADE DOS SERVIÇOS COM O 5G	66
4.2.1 Setor de Saúde	66
4.2.2 Setor de Energia	68
4.3 TESTES EM CAMPO DO 5G EM CIDADES INTELIGENTES	69
4.3.1 5G ao vivo na Coreia	69
4.3.2 Recorde mundial de velocidade do 5G em 2017	71
4.4 MODELOS DE CIDADES INTELIGENTES NO BRASIL.....	72
4.4.1 Campus Jundiaí	72
4.4.2 Barueri (São Paulo)	73

4.5 PROPOSTA TEÓRICA DE SEMÁFOROS INTELIGENTE EM BELÉM DO PARÁ USANDO TECNOLOGIA 5G	74
5 CONCLUSÃO.....	79
5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	80
5.2 TRABALHOS FUTUROS	80
6 REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Durante a última década, a Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) revolucionou a computação ubíqua com uma infinidade de aplicações criadas em torno de vários tipos de sensores. Uma grande quantidade de atividades em comunicação sem fio é vista nas linhas de produtos baseadas em IoT e, espera-se que essas atividades cresçam nos próximos anos com projeções tão altas quanto bilhões de dispositivos, com uma média de seis dispositivos por pessoa até 2020 (EJAZ et al., 2016).

Os sistemas sem fio de quinta geração (5G) estão no horizonte e a IoT está tomando o centro das atenções, pois espera-se que os dispositivos formem a maior parte do ecossistema das redes 5G. A expectativa é que tecnologias de IoT, como a comunicação máquina a máquina, complementadas com análises de dados inteligentes, mudem drasticamente o cenário de várias indústrias (EJAZ et al., 2016).

As redes 5G precisam acomodar muito mais usuários e dispositivos, ao mesmo tempo em que fornecem maior capacidade de dados para cada usuário a qualquer momento. Os pesquisadores vislumbram não apenas uma rede 5G com taxas de dados sem precedentes e acesso móvel, mas também uma oportunidade de redefinir a rede para acomodar uma infinidade de novos e diversos dispositivos conectados. O 5G também apresenta aos pesquisadores um desafio para melhorar questões mais conhecidas, mas não menos importantes, como a uniformidade de cobertura em toda a região atendida e redes com maior eficiência energética (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

Nesse cenário complexo, a aplicação do paradigma da IoT em um contexto urbano é de particular interesse, pois responde ao forte impulso de muitos governos nacionais para adotar soluções de ICT (*Information and Communication Technology*) na gestão de assuntos públicos, construindo dessa forma as *Smart Cities* ou Cidades Inteligentes (ZANELA et al., 2014).

Embora ainda não exista uma definição formal e amplamente aceita de “Cidade Inteligente”, o objetivo final é fazer um melhor uso dos recursos públicos, aumentando a qualidade dos serviços oferecidos aos cidadãos, reduzindo os custos operacionais da administração pública. Esse objetivo pode ser perseguido pela implantação de uma IoT urbana, ou seja, uma infraestrutura de comunicação que ofereça acesso unificado, simples e econômico a uma infinidade de serviços públicos. Uma IoT urbana, de fato, pode trazer uma série de benefícios na gestão e otimização de serviços públicos

tradicionais, como transporte e estacionamento, iluminação, vigilância e manutenção de áreas públicas, preservação do patrimônio cultural e coleta de lixo (ZANELA et al., 2014).

Os conceitos apresentados acima têm uma forte relação, e o desenvolvimento de novas tecnologias de IoT irão precisar de uma infraestrutura confiável e de alta performance, e é isso que o 5G promete entregar. Diz-se que o 4G conecta pessoas e que o 5G irá conectar tudo.

Com o 5G, as Cidades Inteligentes terão a estrutura necessária para desenvolver aplicações que precisam de baixo tempo de resposta, como os carros autônomos.

Este trabalho irá explicar os conceitos e arquitetura das Cidades Inteligentes e da tecnologia 5G, explorando todos os aspectos dessa rede móvel em desenvolvimento, assim como as vantagens e desvantagens em sua implementação. O principal foco da pesquisa é abordar a tecnologia 5G como infraestrutura básica de rede móvel nas Cidades Inteligentes, onde será explicado o funcionamento do 5G, arquitetura da rede, tecnologias envolvidas e benefícios da utilização dessa rede para “turbinar” as aplicações das Cidades Inteligentes. Serão ainda relatados os testes de 5G que estão sendo realizados no Brasil e no mundo pelas grandes empresas de telecomunicações e, será apresentada uma proposta teórica de controle de tráfego utilizando a rede 5G na cidade de Belém do Pará.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Patrícia Vello, presidente da Ciena no Brasil, empresa fornecedora global de equipamentos, softwares e serviços de redes de telecomunicações, a próxima geração de redes móveis 5G traz uma nova capacidade para evitar a interrupção de transmissão de dados e garante que os diversos requisitos de latência, largura de banda e confiabilidade para diferentes serviços possam ser atendidos.

Existem milhões de dispositivos já implantados nas cidades, e outros bilhões estão chegando que podem tornar as cidades mais inteligente, coletando dados do trânsito, do tempo, do consumo de energia, do consumo de água e de muitas outras fontes, comumente em tempo real. Esses dados podem ser analisados e, o conhecimento resultante ser usado para se entender o que está acontecendo agora e prever o que acontecerá no futuro (VELLO, 2017).

A cidade inteligente do futuro próximo e, em alguns casos, do presente, é sustentada pelo fluxo ininterrupto e confiável de dados de redes com e sem fio interconectados. Quando os dados precisam ser analisados em tempo real, eles não podem ser de maneira alguma interrompidos ou ter seu fluxo prejudicado por problemas de latência. Há grande expectativa de podermos contar com uma série de melhorias intrínsecas à tecnologia 5G: aumento da largura de banda (até 1.000 vezes por unidade de área), até 100 vezes mais dispositivos conectados e redução de até 90% na utilização de energia na rede, juntamente com taxas de conexão de até 10 Gbps para dispositivos móveis no campo (VELLO, 2017).

De acordo com a empresa Ericsson (2018), uma das principais fornecedoras de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), a introdução do 5G pode ser vista como uma forma de "turbinar" os negócios existentes de banda larga móvel, com taxa de transferência extremamente alta e baixa latência, também abrindo o potencial para novos modelos de negócios em uma ampla gama de aplicações comerciais e domésticas. Esta introdução deve ser vista como uma forma de evoluir e expandir o negócio de sucesso que os operadores estabeleceram em suas redes existentes.

O que o acesso de rádio 5G também adiciona, acima de tudo - em consórcio com novas capacidades de rede core - são novos níveis de flexibilidade e potencial para lidar com múltiplos e novos casos de uso de uma forma altamente responsiva e eficiente. É tanto um facilitador para o crescimento dos negócios existentes, bem como uma plataforma para a inovação empresarial futura (ERICSSON, 2018).

Então, o interesse em explorar o tema proposto justifica-se pela grande demanda de dispositivos conectados a uma rede de comunicação e, o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações que necessitam de uma rede robusta. Assim, o 5G se torna uma solução para esses requisitos e a estrutura principal para a comunicação de dispositivos nas Cidades Inteligentes.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa são divididos em geral e específicos, de acordo com os tópicos abaixo.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar a implementação do 5G nas cidades inteligentes, seus requisitos, sua infraestrutura e os benefícios que a rede 5G irá trazer. Após esse estudo, propor um projeto de uma aplicação de cidade inteligente para ser desenvolvido na cidade de Belém.

1.2.2 Objetivos específicos

- Expor os conceitos de Cidades Inteligentes, Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) e da tecnologia 5G.
- Detalhar a arquitetura 5G.
- Explicar as tecnologias NFV (*Network Functions Virtualization*) e SDN (*Software Defined Networks*).
- Analisar teoricamente as vantagens e desvantagens da implementação do 5G e sua utilização nas Cidades Inteligentes.
- Relatar os principais testes realizados com o 5G pelas grandes operadoras mundiais em conjunto com os fornecedores de telecomunicações.
- Propor um projeto teórico de uma aplicação de Cidade Inteligente em Belém do Pará utilizando o 5G.

1.1 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma monografia, que tem como objetivo deste trabalho é compreender os aspectos técnicos e o funcionamento da tecnologia 5G, entender o conceito de Cidades Inteligentes e suas características. O estudo tem como base artigos científicos de instituições confiáveis, autores especialistas na área de pesquisa e documentos de empresas da área de telecomunicações e tecnologia.

A construção deste trabalho foi elaborada de acordo com a visão de órgãos padronizadores de tecnologia e telecomunicações como 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), ITU (*International Telecommunication Union*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) e outros, demonstrando um estudo aprofundado sobre os assuntos relacionados neste trabalho. O enfoque é apresentar o que está sendo desenvolvido para que a tecnologia 5G seja a solução para que as Cidades Inteligentes possam ter uma estrutura confiável.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, o trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 2 – este capítulo irá focar nas cidades inteligentes, explicando pontos como Big Data (processamento e análise de grandes quantidades de informação) e IoT (*Internet of Things*).
- Capítulo 3 – este capítulo irá realizar o estudo da tecnologia 5G, tratando da arquitetura 5G, tecnologias NFV (*Network Functions Virtualization*) e SDN (*Software Defined Networks*), e relatando teste realizados com o 5G pelas operadoras móveis, fornecedores de telecomunicações e universidades no Brasil e no mundo.
- Capítulo 4 – neste capítulo irá ser analisada a necessidade do 5G nas cidades inteligentes, avaliando vantagens e desvantagens da utilização desta tecnologia. Esse capítulo terá como foco mostrar casos de uso de Cidades Inteligentes e suas aplicações se beneficiando da infraestrutura 5G. Além de apresentar um projeto teórico de uma aplicação de Cidade Inteligente em Belém do Pará utilizando o 5G.
- Capítulo 5 – este capítulo irá apresentar a conclusão do trabalho, expondo o aprendizado, dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa e trabalhos futuros.

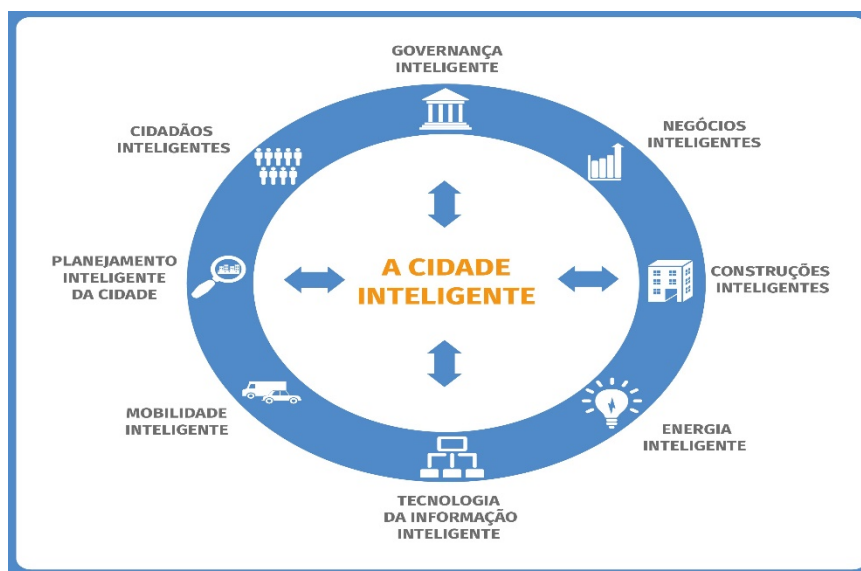
2 CIDADES INTELIGENTES

Uma Cidade Inteligente e sustentável é uma cidade inovadora que utiliza Tecnologias de Informação e Comunicação e outros meios para melhorar a tomada de decisão, a eficiência das operações e dos serviços urbanos, enquanto garante o atendimento das necessidades das gerações atuais e futuras com relação aos aspectos econômicos, sociais e ambientais. Ela é atrativa para os cidadãos, empreendedores e trabalhadores, garantindo um espaço mais seguro, com melhores serviços e com um ambiente de inovação que estimula soluções criativas, gerando empregos e reduzindo as desigualdades. Com isso, ela promove um ciclo virtuoso que produz não apenas bem-estar econômico e social, mas também garante um uso sustentável de seus recursos e mais qualidade de vida no longo prazo (BOUSKELA et al., 2016).

As Cidades Inteligentes influenciam várias áreas estratégicas dentro de uma cidade, e com uma centralização e acesso rápido de informações, a tomada de decisão de uma determinada situação se torna mais eficiente e rápida.

A Figura 1 exemplifica as áreas que estão ligadas no processamento de informações das Cidades Inteligentes.

Figura 1 - Estrutura de uma Cidade Inteligente



Fonte: UK Trade & Investments (2011, online)

O requisito fundamental para a concepção de Cidades Inteligentes é a instrumentação em larga escala da infraestrutura da cidade, que inclui serviços públicos, transporte, meio ambiente, governo e indústrias. Todas essas áreas dentro

de uma cidade necessitam ter vários dispositivos, sensores e atuadores para que haja uma infraestrutura que possa oferecer qualidade de serviço (BALAKRISHNA, 2012).

A grande quantidade de dispositivos que precisa ser adicionada em uma Cidade Inteligente precisa da implementação de uma infraestrutura de rede de alta performance, que não apenas suporte o crescimento exponencial do número de dispositivos conectados, mas também atenda às necessidades específicas de várias áreas dentro de uma cidade. A infraestrutura de rede é necessária para permitir a mobilidade, conexão e transmissão de dados em vários setores da cidade e distribuir serviços e produtos para os usuários finais. Outro requisito crítico nas Cidades Inteligentes é o gerenciamento eficiente dos dados, provenientes dos dispositivos conectados, e que trafegam continuamente dentro da rede. O acesso aos dados obtidos das diversas áreas de uma cidade permite que essas informações se transformem em conhecimento e que possa ser transmitida por meio de serviços e aplicativos. (BALAKRISHNA, 2012).

2.1 ARQUITETURA DA CIDADE INTELIGENTE

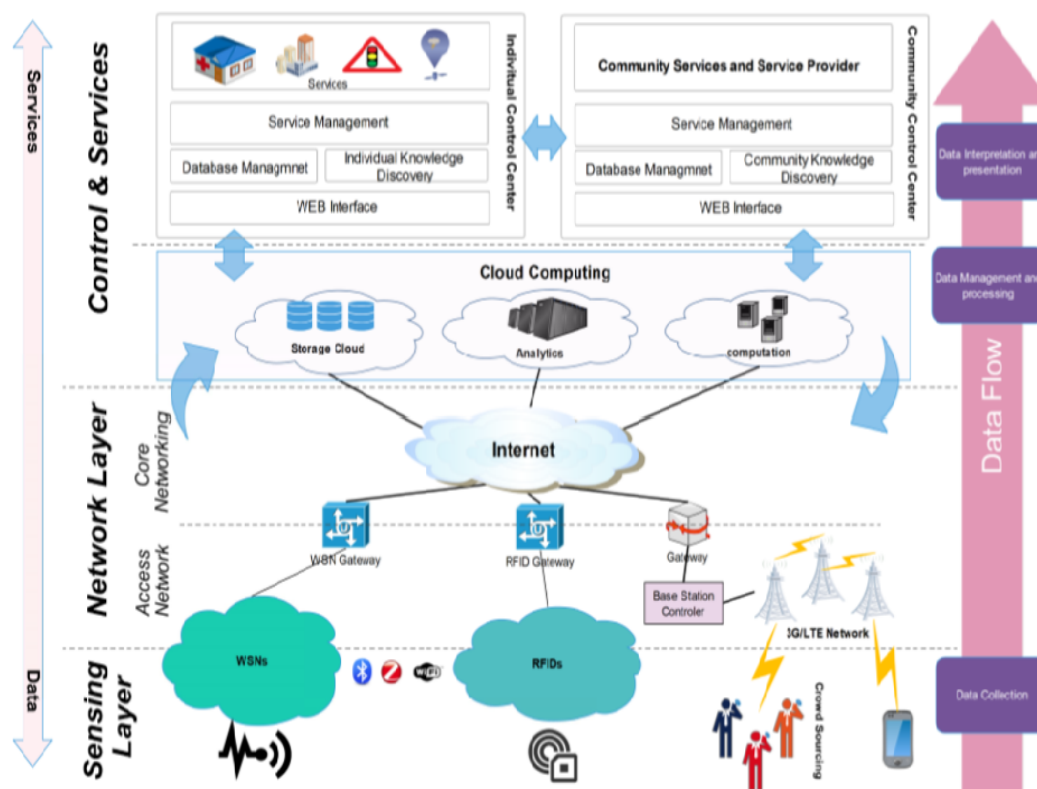
Desenvolver a arquitetura é geralmente o passo inicial na direção de uma solução. Projetar a arquitetura geral que pode atender todos os requisitos de aplicações e serviços é uma das etapas desafiadoras nas Cidades Inteligentes. Criar uma arquitetura difundida para Cidades Inteligentes é uma tarefa complicada, principalmente devido à grande diversidade de objetos e dispositivos, protocolos, tecnologias e serviços.

As Cidades Inteligentes possuem diversos dispositivos conectados em uma rede de comunicação, todos os dias o número de objetos conectados aumenta, e a forma de coletar os dados muda. Conseqüentemente, os dispositivos produzem uma enorme quantidade de dados e informações. A computação em nuvem é uma técnica ideal para suportar uma grande quantidade de informações e executar muitos serviços, além disso, a computação em nuvem fornece acesso a todos os recursos, como dispositivos móveis, sensores e atuadores a qualquer momento, e em qualquer lugar. Aplicações que interagem com sensores e dispositivos devem ter requisitos especiais para lidar com uma grande quantidade de dados, e ter capacidade computacional apropriada para processar uma enorme quantidade de dados.

Segundo Jalali et al. (2015, p. 110), uma arquitetura de uma Cidade Inteligente que poderia resolver os desafios acima seria a apresentada na Figura 2. Essa arquitetura consiste em três camadas: camada de sensores, camada de rede e camada de controle.

- 1. Camada de Sensores e Dispositivos:** A heterogeneidade é uma das características importantes da camada de sensores, que geralmente contém uma variedade de sub-redes que adotam diferentes tecnologias de comunicação. Para superar a dificuldade de coletar dados em redes heterogêneas, precisa-se de uma estrutura generalizada para essa coleta. Essa estrutura deve recuperar dados continuamente ou em intervalos aleatórios. Os objetos e dispositivos IoT são muito pequenos e a maioria deles tem uma limitação em processamento e energia. Portanto, os algoritmos devem ser projetados para usar a energia de forma mais eficiente, pois isso é essencial.
- 2. Camada de Rede:** Nesta camada é fornecida a infraestrutura de comunicação para transferir os dados da camada de sensores e dispositivos para a camada de controle, ou vice-versa. Nessa camada é importante a infraestrutura de rede atender aos diversos requisitos das aplicações desejadas.
- 3. Camada de Controle:** Se trata de uma camada responsável pelo gerenciamento de todos os serviços, e possui um papel muito importante no gerenciamento dos dados que são trafegados na camada de rede.

Figura 2 - Arquitetura padrão para uma Cidade Inteligente



Fonte: Jalali et al. (2015, online)

2.1.1 Componentes de uma Cidade Inteligente

Entender os componentes básicos das soluções tecnológicas e suas possibilidades é um passo importante para iniciar um projeto de Cidade Inteligente. Muitos projetos falharam no passado por não estarem atentos a questões como planejamento adequado, diagnóstico prévio das necessidades gerais da cidade, escolha equivocada de tecnologias que não conseguiam acompanhar a evolução e tornavam-se obsoletas, ou impactavam no orçamento das cidades por serem superdimensionadas, com custo alto e baixo retorno (BOUSKELA et al., 2016).

Independente da aplicação, uma solução de uma Cidade Inteligente envolve processos, tecnologias e pessoas. Do ponto de vista tecnológico, ela tem invariavelmente quatro componentes básicos: infraestrutura de conectividade, sensores e dispositivos conectados, centros integrados de operação e controle, e interfaces de comunicação (BOUSKELA et al., 2016).

Na Figura 3 são exemplificadas as bases de uma Cidade Inteligente.

Figura 3 - Bases de uma Cidade Inteligente



Fonte: Bouskela et al. (2016, online)

- **Infraestrutura de conectividade:**

Em um plano de Cidades Inteligentes é preciso garantir a existência (ou o desenvolvimento) de redes de banda larga que possam suportar as aplicações digitais e garantir que essa conectividade esteja presente por toda a cidade e para todos os cidadãos. Essa infraestrutura de comunicação pode ser uma combinação de diferentes tecnologias de rede de dados usando transmissão via cabos, fibra óptica e redes sem fio (Wi-Fi, 4G, 5G ou rádio). A fibra óptica é a tecnologia atual que assegura a maior velocidade de conexão em terra e permite criar redes Wi-Fi de alta qualidade e velocidade, essenciais para conectar sensores e dispositivos (BOUSKELA et al., 2016).

- Sensores:

O sensoriamento está no centro das infraestruturas inteligentes. O uso de sensores para monitorar infraestruturas públicas, como pontes, estradas e edifícios, proporciona uma conscientização que permite o uso mais eficiente dos recursos, com base nos dados coletados por esses sensores. O monitoramento em tempo real elimina a necessidade de inspeções regulares programadas, reduzindo custos. Alguns exemplos são: medir o consumo de energia nas residências permite uma previsão precisa da carga demandada, e sensores implantados em estradas para monitoramento de tráfego coletam dados que são necessários para a implementação de sistemas de transporte inteligentes (HANCKE et al., 2013).

- Centro Integrado de Operação e Controle (CIOC):

Considerado como a materialização da integração dos recursos e sistemas de uma Cidade Inteligente, o Centro Integrado de Operação e Controle – CIOC (ou por sua sigla em inglês *Integrated Operating Control Center* – IOCC) reúne em um mesmo local a estrutura tecnológica (computadores, sistemas aplicativos, e monitores dos sistemas digitais), a infraestrutura física (salas de operação, gestão de crise etc.), os processos e os funcionários, representantes de vários órgãos públicos e de concessionários, com foco para abordagem de forma colaborativa e integrada dos temas a serem tratados no que deve ser o cérebro da Cidade Inteligente (BOUSKELA et al., 2016).

O CIOC está conectado à cidade em tempo real por meio da internet e de diferentes redes de comunicação com os milhares de sensores e dispositivos digitais espalhados pela malha urbana, câmeras de vídeo e outros equipamentos geradores de informações. Ele é equipado com computadores e programas de processamento de grande quantidade de dados e sistemas de análise, que permitem aos seus operadores acompanhar o movimento da cidade ao vivo, tomar decisões que permitam agir em situações rotineiras, ou atuar rapidamente em situações de emergência como enchentes, acidentes ou situações graves de segurança (BOUSKELA et al., 2016).

- Interfaces de Comunicação:

As interfaces de comunicação permitem que haja uma interação entre os usuários e provedores dos serviços existentes nas Cidades Inteligentes, essa

interação pode ocorrer de várias formas, através de aplicativos móveis, portais web, redes sociais, entre outros métodos que permita essa relação de colaboração. É muito importante que haja esse componente dentro das Cidades Inteligentes, pois através das interfaces de comunicação é possível usufruir de um serviço disponível.

2.1 *BIG DATA ANALYTICS*

“*Big Data*” refere-se ao conjunto de dados (*dataset*) cujo tamanho está além da habilidade de ferramentas típicas de banco de dados de realizar atividades de gerenciamento e análise de dados. Big Data não é definido em termos de ser maior do que certo número de *Terabytes* (milhares de *Gigabytes*). Como a tecnologia avança sobre o tempo, o tamanho de *datasets* que são quantificados como *Big Data* também aumentará (TEIXEIRA, 2011).

Big Data Analytics é o trabalho analítico e inteligente de grandes volumes de dados, estruturados ou não-estruturados, que são coletados, armazenados e interpretados por *softwares* de altíssimo desempenho. Trata-se do cruzamento de uma infinidade de dados do ambiente interno e externo, gerando uma espécie de “bússola gerencial” para tomadores de decisão. Tudo isso, é claro, em um tempo de processamento extremamente reduzido (HAKIMA, 2017).

Algumas das fontes usadas por um *software* de *Big Data Analytics*:

- Dados extraídos de ferramentas de Inteligência de Negócios (*Business Intelligence – BI*);
- Arquivos de log de servidores web;
- Conteúdos de mídias sociais;
- Estatísticas de ligações celulares capturadas por sensores conectados à Internet das Coisas.

2.1.1 Funcionamento do *Big Data Analytics*

Com novas ferramentas que tratam todo o ciclo de gerenciamento de dados, as tecnologias de big data o tornam viável tanto técnica quanto economicamente, não só a coleta e armazenamento de grandes quantidades de dados, mas também analisá-los de maneira a fazer novas e valiosas descobertas. Na maioria dos casos, o processamento de big data envolve um fluxo de dados comum, da coleta de dados brutos ao consumo de informações práticas (AMAZON, 2017).

As atividades envolvidas em processamento de fluxos contínuos de dados normalmente são divididas como é demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxo de trabalho de um *Big Data Analytics*



Fonte: Amazon Web Services (2016, online)

- 1. Coleta:** A coleta de dados brutos, transações, logs, dispositivos móveis é o primeiro desafio que muitas organizações enfrentam quando tratam com big data. Uma boa plataforma de big data torna esta etapa mais fácil, permitindo aos desenvolvedores ingerir uma ampla variedade de dados, estruturados ou não estruturados, a qualquer velocidade em tempo real até em lote.
- 2. Armazenamento de arquivos:** Qualquer plataforma de big data precisa de um repositório seguro, escalável e durável para armazenar dados antes ou, até mesmo, depois de processar tarefas. Dependendo dos seus requisitos específicos, pode-se também precisar de armazenamentos temporários para dados em trânsito.
- 3. Processamento e análise:** Esta é a etapa em que os dados são transformados do estado bruto para um formato consumível, normalmente por meio da classificação, da inclusão, da união e, até mesmo, da execução de funções e algoritmos avançados. Os conjuntos de dados resultantes são então armazenados para processamento posterior ou disponibilizados para consumo através de inteligência de negócio e ferramentas de visualização de dados.

- 4. Consumo e visualização:** O objetivo do *Big Data Analytics* é obter descobertas práticas e de alto valor com base nos seus ativos de dados. Idealmente, os dados são disponibilizados para as partes envolvidas através de inteligência de negócio de autoatendimento e ferramentas ágeis de visualização de dados que permitem a exploração rápida e fácil de conjuntos de dados. Dependendo do tipo de análise, os usuários finais também podem consumir os dados resultantes na forma de "previsões" estatísticas, no caso de análise preditiva, ou ações recomendadas, no caso de análise prescritiva.

Um *Big Data Analytics* em suas etapas de funcionamento, deve executar um serviço de excelente qualidade. Uma ótima solução de *Big Data* deve ter uma alta disponibilidade quando seu serviço for solicitado, capacidade ampla de armazenamento, e possuir uma das características mais importantes em soluções tecnológicas que é segurança e confiabilidade.

2.1.2 Requisitos de um *Big Data Analytics* para Cidades Inteligentes

Os requisitos de um *Big Data Analytics* aumentaram conforme o avanço da tecnologia e o desenvolvimento de novos casos de uso nas Cidades Inteligentes. Como resultado desses avanços, o modo como os dados são analisados também se tornou complexo. Os requisitos gerais para os *Big Data Analytics* em Cidades Inteligentes definem as especificações para a análise de dados. Esta seção apresenta os principais requisitos para *Big Data Analytics* (AHMED,2017).

- 1. Conectividade:** Um dos principais requisitos presente nas Cidades Inteligentes é fornecer uma conectividade confiável para a análise de dados, facilitando desse modo a combinação e a integração de grandes volumes de dados gerados por sensores e dispositivos.
- 2. Armazenamento:** Inclui o manuseio de grandes quantidades de dados não estruturados e o fornecimento de baixa latência para análises. Além disso, as aplicações de tecnologias de um *Big Data Analytics* para IoT podem permitir que o processamento de dados implemente informações que possam melhorar os diferentes serviços oferecidos pelas Cidades Inteligentes.

3. **Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*):** A Qualidade de Serviço fornecida por uma infraestrutura de rede dentro de Cidades Inteligentes deve ser confiável e deve garantir uma transferência eficiente de dados. O suporte a QoS é extremamente importante para a análise de dados. No entanto, para criar uma rede confiável, muitas tecnologias de redes emergentes devem ser introduzidas nas Cidades Inteligentes para permitir a transferência de eventos em tempo real e melhorar os recursos de processamento do *Big Data*.
4. **Análise em tempo real:** As implementações de *Big Data* devem executar análises com consultas em tempo real para ajudar as organizações a obter *insights* e tomar decisões rapidamente e interagir com pessoas e outros dispositivos em tempo real.

2.1.3 O Papel do *Big Data Analytics* em Cidades Inteligentes

As tecnologias de *Big Data* podem oferecer serviços de armazenamento e processamento de dados em um ambiente de Cidades Inteligentes, enquanto a análise desses dados permite que as pessoas e organizações possam tomar decisões melhores. As aplicações de Cidades Inteligentes são as principais fontes de dados para o *Big Data*. Será explicado abaixo o papel da análise de dados em diferentes cenários dentro de Cidades Inteligentes, isso inclui: Redes Elétricas Inteligentes, Saúde Inteligente e Transporte Inteligente.

1. **Redes Elétricas Inteligentes:** Em um ambiente de redes elétricas inteligentes, grandes quantidades de dados são coletadas de várias fontes, como os hábitos de utilização de energia dos usuários, dados de medição fasorial para consciência situacional e dados de consumo de energia coletados por medidores inteligentes. A análise adequada pode ajudar a medir o nível de fornecimento de eletricidade que os fornecedores de energia devem fornecer aos seus clientes. A análise de dados também pode ajudar os empresários a prever as demandas de eletricidade no futuro. Os objetivos estratégicos de organizações específicas também podem ser atendidos por meio de diferentes tipos de análises.
2. **Saúde Inteligente:** Nos últimos anos, grandes volumes de dados foram criados no setor de saúde. No entanto, esse rápido aumento na produção de dados criou desafios na extração de informações valiosas de grandes

conjuntos de dados que podem ajudar a prever epidemias e encontrar curas para várias doenças. A análise de dados pode ajudar os especialistas em saúde a analisar uma grande quantidade de informações de pacientes e aprender a história de uma doença. Os especialistas em saúde também podem detectar doenças graves em seus estágios iniciais e, conseqüentemente, evitar a perda de vidas.

- 3. Transporte Inteligente:** A análise de dados pode ajudar as autoridades de gestão de transportes a descobrirem a minimizar o número de acidentes rodoviários, determinar o momento em que a carga atinge uma rota congestionada e preparar um plano de rota ideal que pode ajudar a minimizar o congestionamento de tráfego. A análise de dados de transporte inteligentes pode otimizar indiretamente os movimentos de envio de mercadorias, melhorar a segurança no trânsito e aprimorar a experiência do usuário.

Ter uma boa solução em *Big Data* em uma Cidade Inteligente, gera benefícios em várias aplicações. A Tabela 1 mostra os principais benefícios alcançados nos casos de uso abordados nessa seção.

Tabela 1 - Benefícios em cada setor

Aplicações de Cidades Inteligentes	Benefícios
Transporte Inteligente	1 – Redução no número de acidentes. 2 – Minimizar o congestionamento do trânsito. 3 – Otimizar rotas.
Saúde Inteligente	1 – Prever epidemias, curas e doenças. 2 – Emitir sinais de alerta de doenças em seus estágios iniciais.
Redes Elétricas Inteligentes	1 – Ajudar a projetar um ótimo plano de preços de acordo com o consumo atual. 2 – Prever necessidades de suprimentos futuras. 3 – Garantir um nível apropriado de fornecimento de energia elétrica.

Fontes: Autores (2018)

2.2 INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) refere-se ao uso de dispositivos e sistemas conectados de forma inteligente para aproveitar dados reunidos por sensores e atuadores incorporados em máquinas e outros objetos físicos. Espera-se

que a IoT se espalhe rapidamente nos próximos anos e, essa convergência desencadeará uma nova dimensão de serviços que irá melhorar a qualidade de vida dos consumidores e a produtividade das empresas, abrindo a oportunidade de uma "Vida Conectada" (GSMA, 2014).

Para os consumidores, a IoT tem o potencial de fornecer soluções que melhoram drasticamente a eficiência energética, a segurança, a saúde, a educação e muitos outros aspectos da vida diária. Para as empresas, a IoT pode sustentar soluções que melhoram a tomada de decisões e a produtividade nos setores de manufatura, varejo, agricultura e outros (GSMA, 2014).

A IoT é um conjunto de padrões e tecnologias, que apesar de muito estudado, ainda não possui uma definição exata. Órgãos como o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) (2014, online) diz que, seria “uma rede de itens - cada um incorporado com sensores - que estão conectados à Internet.”

Segundo IETF (*Internet Engineering Task Force*) (2015, online), define que:

[...] a ideia básica da IoT é conectar objetos à nossa volta (eletrônicos, elétricos, não elétricos) para prover comunicação transparente e serviços.

De acordo com a ITU (*Internacional Telecommunication Union*) (2015, online), apresentam as seguintes definições para IoT:

[...] uma rede dinâmica que conecta redes a qualquer hora, qualquer lugar, com conexão para qualquer pessoa. Têm-se agora conectividade para todas as coisas.

2.2.1 Características

As características fundamentais da IoT são as seguintes (PATEL; PATEL, 2016):

- 1. Interconectividade:** Tudo pode estar interligado com a infraestrutura global de informação e comunicação.
- 2. Serviços relacionados a coisas:** A IoT é capaz de fornecer serviços relacionados a dispositivos, como proteção de privacidade e consistência semântica entre dispositivos físicos e virtuais.
- 3. Heterogeneidade:** Os dispositivos da IoT são heterogêneos, com base em diferentes plataformas e redes de hardware. Eles podem interagir com outros dispositivos ou plataformas de serviços por meio de redes diferentes.

4. **Alterações dinâmicas:** O estado dos dispositivos muda dinamicamente, por exemplo, dormindo e acordando, conectado e/ou desconectado, bem como o contexto dos dispositivos, incluindo localização e velocidade. Além disso, o número de dispositivos pode mudar dinamicamente.
5. **Escalabilidade:** O número de dispositivos que precisam ser gerenciados e que se comunicam entre si será pelo menos em ordem de magnitude maior do que os dispositivos conectados à Internet atual.
6. **Segurança:** À medida que ganham-se benefícios com a IoT, não se deve esquecer da segurança. Isso inclui a segurança de dados pessoais e a segurança do bem-estar físico. Proteger as redes e os dados em movimento significa criar um paradigma de segurança que será dimensionado.

2.2.2 Arquitetura IoT

A arquitetura IoT consiste em diferentes camadas de tecnologias. Serve para ilustrar como várias tecnologias se relacionam entre si e para comunicar a escalabilidade, modularidade e configuração de implantações de IoT em diferentes cenários (PATEL; PATEL, 2016).

Ainda segundo os autores acima citados, a:

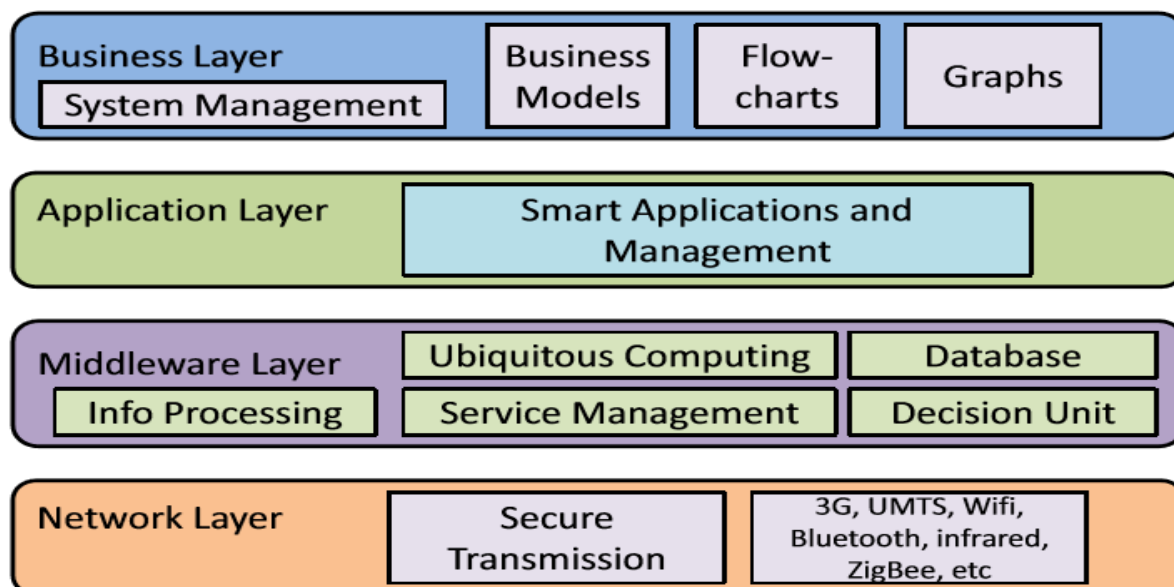
1. **Camada de dispositivo/Sensor inteligente:** A camada mais baixa é composta de objetos inteligentes integrados com sensores. Os sensores possibilitam a interconexão do mundo físico e digital, permitindo que informações em tempo real sejam coletadas e processadas. Existem vários tipos de sensores para diferentes propósitos. Os sensores têm a capacidade de realizar medições como temperatura, qualidade do ar, velocidade, umidade, pressão, fluxo, movimento, eletricidade, etc.
2. **Camada de rede:** Um volume maciço de dados será produzido por sensores e isso requer uma infraestrutura de rede robusta e de alto desempenho como meio de transporte. As redes atuais, muitas vezes vinculadas a protocolos diferentes, foram usadas para oferecer suporte a *Machine-to-Machine* (M2M) e seus aplicativos. Essas redes podem ser na forma de modelos privados, públicos ou híbridos e são construídas para suportar os requisitos de comunicação para latência, largura de banda ou segurança. Uma das soluções que está em desenvolvimento para oferecer uma infraestrutura de qualidade em aplicações de IoT é a rede móvel 5G.

O 5G irá permitir que um grande número de dispositivos esteja ligado em uma mesma rede, garantindo que o tempo de resposta de uma requisição seja menor, entre outros benefícios.

3. **Camada Intermediaria:** O serviço de gerenciamento possibilita o processamento de informações por meio de análises, controles de segurança, modelagem de processos e gerenciamento de dispositivos.
4. **Camada de aplicação:** Essa camada se refere a aplicação do serviço de IoT, abrange diversas áreas como: transporte, construção, turismo, saúde, meio ambiente, etc.
5. **Camada de Negócio:** É responsável pelo gerenciamento geral do sistema de IoT, incluindo os aplicativos e serviços. Ele constrói modelos de negócios, gráficos, fluxogramas, etc. com base nos dados recebidos da camada de aplicação. Com base na análise dos resultados, essa camada ajudará a determinar as futuras ações e estratégias de negócios.

A Figura 5 representa a arquitetura IoT em camadas.

Figura 5 - Arquitetura IoT representada em camadas.



Fonte: Khan et al. (2012, online)

3 REDES MÓVEIS 5G

Uma transformação digital, habilitada pela mobilidade, nuvem e banda larga, está ocorrendo em quase todos os setores, interrompendo e nos fazendo repensar nossas formas de trabalhar e viver. Com o surgimento da era 5G, novos casos de uso para a tecnologia estão surgindo, enquanto consumidores e empresas se preparam para identificar processos e canais que aumentem a eficiência de suas vidas e de seus negócios. Novos modelos de negócios estão sendo criados com foco em serviços de nuvem distribuídos e capacidade de programação nos sistemas finais da rede. Uma capacidade e disposição sem precedentes para compartilhar informações está levando a um maior grau de colaboração entre pessoas e todos os tipos de indústrias diferentes. Soluções que envolvem muitas áreas de especialização estão sendo criadas, derrubando modelos de negócios tradicionais e redefinindo ecossistemas no processo (ERICSSON, 2017).

A quinta geração de tecnologia móvel (5G) está posicionada para atender às demandas e contextos de negócios de 2020. Espera-se que proporcione uma sociedade totalmente móvel e conectada e, fortaleça as transformações socioeconômicas de inúmeras maneiras, muitas das quais são inimagináveis hoje, incluindo as de produtividade, sustentabilidade e bem-estar (NGMN, 2015).

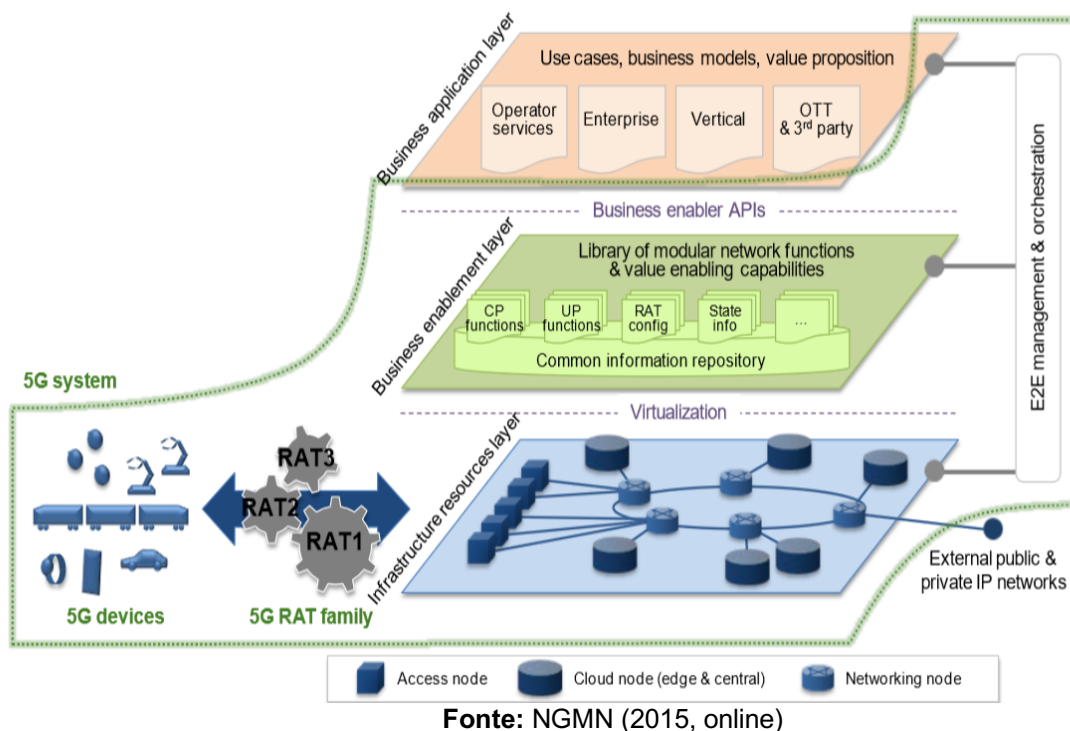
Portanto, no 5G, há uma necessidade de aumentar o desempenho para fornecer, quando necessário, por exemplo, uma taxa de transferência muito maior, latência muito menor, alta confiabilidade, densidade de conectividade muito maior e faixa de mobilidade mais alta. Espera-se que esse desempenho aprimorado seja fornecido junto com a capacidade de controlar um ambiente altamente heterogêneo e a capacidade de, entre outros, garantir segurança e confiança, identidade e privacidade (NGMN, 2015).

3.1 ARQUITETURA 5G

Com base nos princípios de projeto, a NGMN (*Next Generation Mobile Networks*), uma aliança formada pelas principais empresas de telecomunicações, operadoras móveis, fornecedores e fabricantes de tecnologia, prevê uma arquitetura que aproveita a separação estrutural de hardware e software, bem como a capacidade de programação oferecida pela SDN e NFV. Como tal, a arquitetura 5G é uma arquitetura SDN / NFV nativa, cobrindo aspectos que vão desde dispositivos, infraestrutura (móvel / fixo), funções de rede, recursos de habilitação de valor e todas

as funções de gerenciamento para orquestrar o sistema 5G. As APIs são fornecidas nos pontos de referência relevantes para suportar vários casos de uso, criação de valor e modelos de negócios. Essa arquitetura é ilustrada na Figura 5.

Figura 6 - Arquitetura 5G



Segundo a NGMN, a arquitetura compreende três camadas e uma entidade de gerenciamento e orquestração.

- 1. Camada de recursos de infraestrutura:** consiste nos recursos físicos de uma rede convergente fixo-móvel, incluindo nós de acesso, nós de nuvem (que podem ser recursos de processamento ou armazenamento), dispositivos 5G, nós de rede e links associados. Os dispositivos 5G podem ter vários recursos configuráveis e podem atuar como um relé / hub ou um recurso de computação / armazenamento, dependendo do contexto. Portanto, os dispositivos 5G também são considerados parte do recurso de infraestrutura configurável. Os recursos são expostos às camadas superiores e à entidade de gerenciamento e orquestração de ponta a ponta por meio de APIs relevantes. Monitoramento de desempenho e status, bem como configurações são parte intrínseca de tais APIs.

- 2. Camada de ativação de negócios:** é uma biblioteca de todas as funções necessárias em uma rede convergida na forma de blocos de construção de arquitetura modular, incluindo funções realizadas por módulos de software que podem ser recuperados do repositório para o local desejado e um conjunto de parâmetros de configuração de partes da rede. As funções e os recursos são chamados mediante solicitação pela entidade de orquestração, por meio de APIs relevantes. Para determinadas funções, podem existir várias variantes, por exemplo, diferentes implementações da mesma funcionalidade que têm desempenhos ou características diferentes. Os diferentes níveis de desempenho e capacidades oferecidos poderiam ser utilizados para diferenciar a funcionalidade da rede muito mais do que nas redes de hoje.
- 3. Camada de aplicação de negócios:** contém aplicativos e serviços específicos do operador, empresa, verticais ou terceiros que utilizam a rede 5G. A interface com a entidade de gerenciamento e orquestração de ponta a ponta permite, por exemplo, criar fatias de rede dedicadas para um aplicativo ou mapear um aplicativo para fatias de rede existentes.
- 4. Entidade de gerenciamento e orquestração:** é o ponto de contato para converter os casos de uso e modelos de negócios em funções e fatias reais da rede. Ele define as fatias de rede para um determinado cenário de aplicação, vincula as funções de rede modulares relevantes, atribui as configurações de desempenho relevantes e, finalmente, mapeia tudo isso para os recursos de infraestrutura. Ele também gerencia o escalonamento da capacidade dessas funções, bem como sua distribuição geográfica. Em certos modelos de negócios, ele também pode ter recursos para permitir que terceiros criem e gerenciem suas próprias fatias de rede, por meio de APIs. Devido às várias tarefas da entidade de gerenciamento e orquestração, não será uma funcionalidade monolítica. De outro modo, será realizado como uma coleção de funções modulares que integram avanços feitos em diferentes domínios como NFV e SDN. E também, usará inteligência auxiliada por dados para otimizar todos os aspectos de composição e entrega de serviços.

3.2 THROUGHPUT

Os requisitos de taxa de dados são expressos em termos de taxa de dados referente à experiência do usuário, medida em bits/s na camada de aplicação. A taxa de dados do usuário exigida deve estar disponível em pelo menos 95% dos locais (incluindo na borda da célula) por pelo menos 95% do tempo dentro do ambiente considerado. O requisito de taxa de dados do usuário depende do aplicativo ou do caso de uso desejado e, é definido como a taxa de dados mínima necessária para que o usuário obtenha uma experiência de qualidade desejada (NGMN, 2015).

Os requisitos mínimos para a taxa de transmissão e capacidade de tráfego por área definidos pela ITU para o 5G são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos para taxa de dados e capacidade

REQUISITOS ITU PARA TAXA DE DADOS E CAPACIDADE	
Taxa de Dados para <i>Downlink</i>	20 Gbit/s 100Mbit/s (efetiva)
Taxa de Dados para <i>Uplink</i>	10 Gbit/s 50 Mbit/s (efetiva)
Capacidade de Tráfego por Área para <i>Downlink</i> em ambientes <i>indoor</i>	10 Mbit/s/m ²

Fonte: Souza et al. (2015, online)

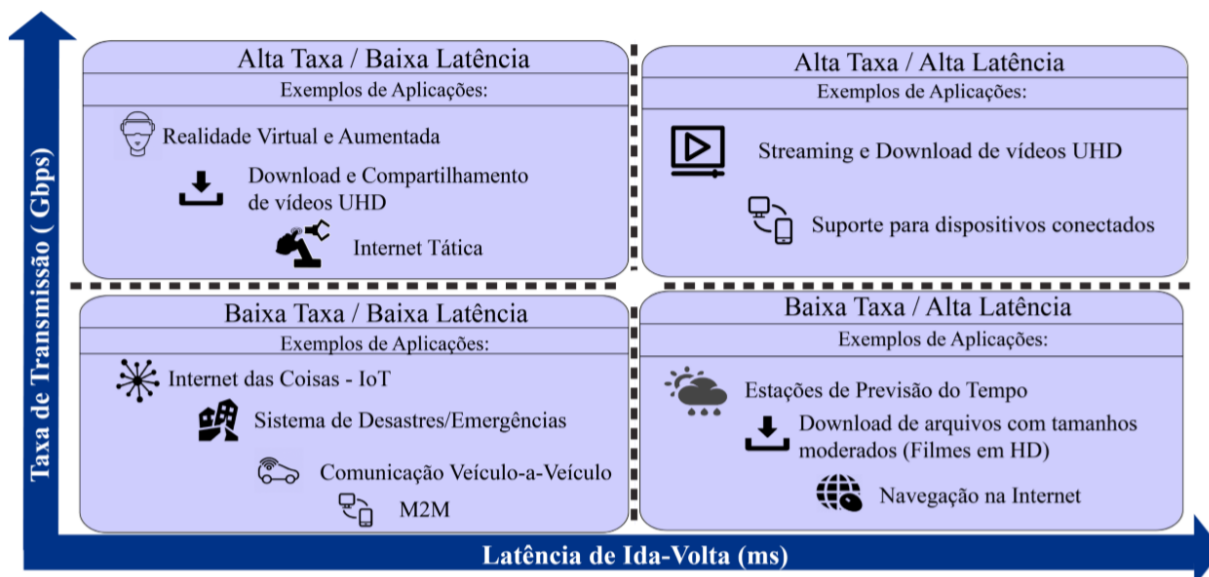
Tais valores podem ser alcançados utilizando-se células com pequenas áreas de cobertura, banda de frequência de ondas milimétricas e M-MIMO (*Massive – Multiple Input Multiple Output*) aliado ao uso de *beamforming*.

3.3 LATÊNCIA

O ITU define que a latência do 5G no plano de usuário deve ser de 1 ms para comunicações URLLC (*Ultra-Reliable and Low-Latency Communications*). Considerando que os atuais sistemas celulares possuem latência em torno de 10 ms, é necessário realizar uma considerável redução para a próxima geração celular. Uma das maneiras de se reduzir a latência é através do uso de células pequenas, e com o uso de comunicação D2D (*Device To Device*). Quando dois dispositivos estão próximos um do outro, a comunicação pode ser feita via tecnologias D2D sem utilizar os recursos da rede móvel, o que a torna muito mais eficiente e rápida. O D2D já tem sido estudado pelo 3GPP como uma tecnologia 4G e sua adoção é de extrema

importância para aplicações que necessitem de baixa latência. A Figura 4 ilustra uma comparação entre a latência e a taxa de dados necessárias para certos serviços e aplicações.

Figura 7 - Relação Latência x Taxa de Dados



Fonte: Souza et al. (2015, online)

3.4 BANDAS DE FREQUÊNCIA

3.4.1 Adequação das bandas móveis existentes

Segundo a NGMN, os requisitos para o 5G incluem a necessidade de oferecer suporte a uma ampla variedade de aplicações que podem ter requisitos diferentes de conectividade móvel. Isso exigirá o acesso a uma variedade de espectros de banda com características diferentes, a fim de atender a uma ampla gama de requisitos de cobertura, *throughput* e latência da maneira mais eficiente em termos de custos.

O 5G será baseado em tecnologias móveis de gerações anteriores e trará recursos adicionais. Bandas de espectro já licenciadas formarão uma base essencial para serviços móveis 5G. Por isso, é importante permitir que as operadoras realoquem as bandas de espectro existentes para a tecnologia 5G de acordo com sua estratégia de implantação. Isso permitirá que melhorias na eficiência do espectro sejam alcançadas, novos recursos sejam introduzidos e investimentos necessários de longo prazo sejam planejados (NGMN, 2015).

3.4.2 Requisitos adicionais de espectro de rede

Os potenciais requisitos adicionais de espectro de rede considerados na WTF-15 (*World Radiocommunication Conference 2015*) são:

1. A necessidade de avaliar possíveis bandas candidatas em frequências mais altas para abordar o novo espectro além do ano 2020 para redes ultradensas. Essas frequências são necessárias para permitir que canais de largura de banda larga suportem taxas de dados muito altas e conectividade móvel de curto alcance (por exemplo, 500 - 1000 MHz de espectro contíguo por rede) tendo em conta a eventual necessidade de acomodar redes múltiplas.
2. Propõe-se, por conseguinte, estudar a viabilidade técnica dos intervalos entre 6 GHz e cerca de 100 GHz, em particular aqueles em que já existem alocações primárias ou co-primárias para dispositivos móveis no Regulamento de Radiocomunicações.

Espectros abaixo de 1GHz são particularmente úteis para cobertura em áreas internas e rurais, enquanto o espectro acima de 6GHz é útil para suportar taxas de dados muito altas e conectividade de curto alcance. Em um contexto 5G, o acesso ao espectro adicional acima de 6GHz é de grande interesse. Deve ser enfatizado que em geral, espectro de baixa frequência (abaixo de 6GHz), especialmente sub-1GHz, é absolutamente essencial para uma entrega econômica de serviços móveis e, isso vale para sistemas existentes, bem como futuros sistemas 5G. Portanto, deve-se priorizar como criar mais espectro naquelas bandas baixas disponíveis e como usar esse espectro com muito mais eficiência.

3.5 SISTEMAS DA REDE 5G

3.5.1 RAN (Radio Access Network)

Devido aos requisitos variados dos principais tipos de serviço 5G, o RAN deve ser projetado para operar em uma ampla faixa de bandas de frequência. Deve ser possível alcançar altas taxas de transferência de dados e um grande número de dispositivos conectados (MARSCH et al., 2017).

Um detalhe muito importante é que o 5G RAN deve oferecer a opção de integrar o LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*) utilizado no 4G e a nova tecnologia de rádio 5G, embora a integração não seja sempre necessária (MARSCH et al., 2017).

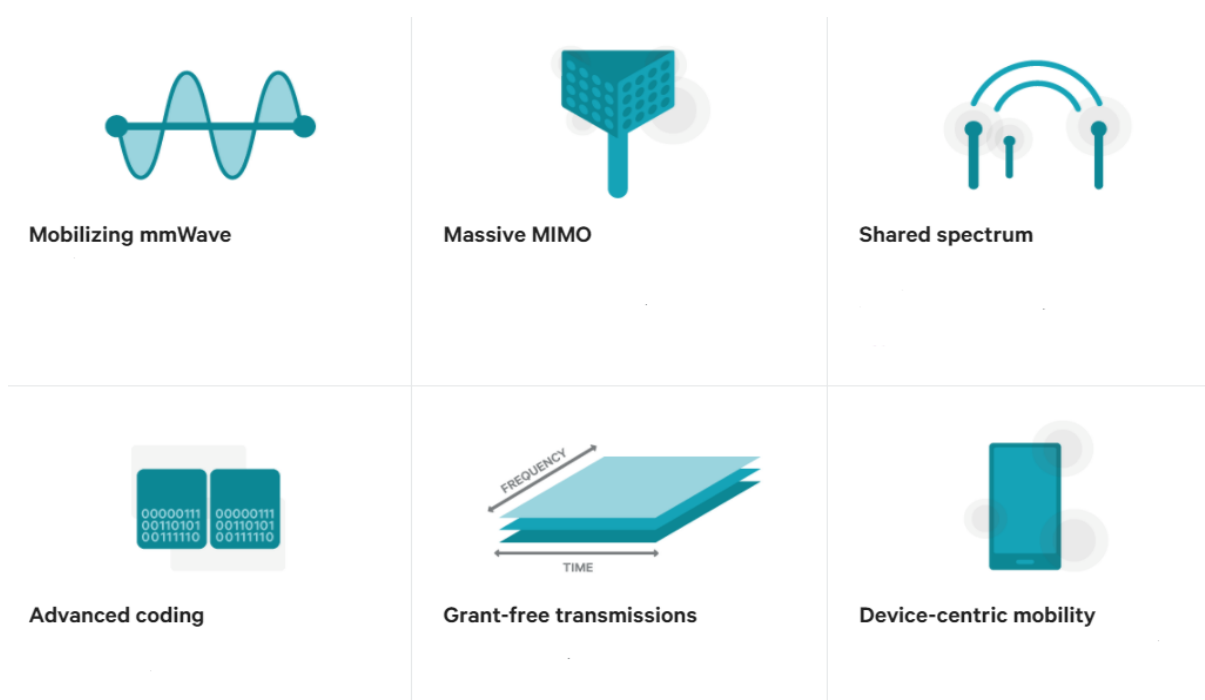
3.5.1.1 O 5G New Radio (5G NR)

5G NR é uma nova interface aérea desenvolvida para a tecnologia 5G e, é a parte de radiofrequência do circuito entre o dispositivo móvel e a estação base ativa. A estação base ativa pode mudar conforme o usuário está em movimento, com cada troca conhecida como *handoff* (KAVANAGH, 2017).

Em poucas palavras, o 5G NR está sendo projetado para melhorar significativamente o desempenho, a flexibilidade, a escalabilidade e a eficiência das redes móveis atuais e para aproveitar ao máximo o espectro disponível, seja licenciado, compartilhado ou não licenciado, em uma ampla variedade de bandas de frequência (KAVANAGH, 2017).

O 5G NR apresenta muitas tecnologias importantes que trarão desempenho e eficiência vastamente aprimorados, alguns exemplos são mostrados na figura 8 e descritos a seguir.

Figura 8 - Tecnologias utilizadas no 5G NR



Fonte: Qualcomm (2018, online)

- 1. Mobilizando o *mmWave*:** Novas tecnologias avançadas para fornecer banda larga móvel robusta utilizando bandas milimétricas (*mmWave*) acima de 24 GHz.

2. **MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*) Massivo:** Tecnologias avançadas de antenas que permitem muitas antenas na estação base, capazes de realizar um *beamforming* 3D (técnica de processamento para transmissão e recepção de sinal direcional) para aumentar a cobertura e a capacidade.
3. **Espectro Compartilhado:** O acesso ao espectro compartilhado e não licenciado ampliará o 5G em várias dimensões, tendo mais capacidade, maior utilização do espectro e novos cenários de implantação.
4. **Codificação Avançada:** O novo design de codificação de canal 5G NR será mais eficiente do que os códigos LTE Turbo atuais com altas taxas de dados e baixa latência.
5. **Transmissões sem concessões:** O novo design de Acesso Múltiplo a Vários Recursos (RSMA - *Resource Spread Multiple Access*) oferece otimizações para transmissões isoladas e sem concessões comuns em comunicações IoT.
6. **Mobilidade Centrada no Dispositivo:** Novo recurso de gerenciamento de mobilidade baseado em *uplink* que pode melhorar a eficiência da rede, a mobilidade e a vida útil da bateria do dispositivo.

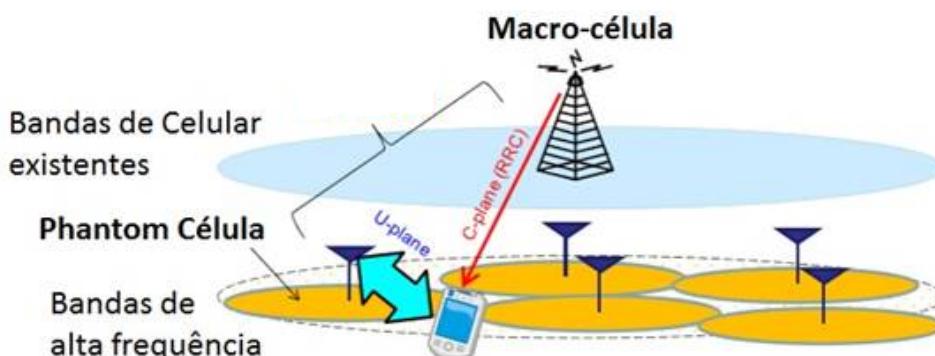
3.5.2 Transmissão 5G

O conceito de transmissão em múltiplas antenas, realiza um papel importante nas redes de comunicação móvel de quarta geração e serão ainda mais importantes nas redes móveis de quinta geração. Poderá ser usado especialmente em altas frequências, utilizando-se do *beamforming* para transmissão ou recepção local, mas com alguns problemas de propagação para altas frequências. Entretanto, o *beamforming* será também de extrema importância em baixas frequências, para o caso da ampliação de cobertura e no fornecimento de altas taxas de dados para equipamentos dispersos (ERICSSON, 2015).

O conceito de *Phantom Cell* é uma das opções que podem ser usadas nas redes de tecnologia 5G. Dividindo-se o plano de controle dos dados do usuário, entre macro células e micro células, com bandas de frequência diferentes onde as micro células suportam um tráfego com alta taxa de transmissão de dados, enquanto as macros células mantêm a sinalização de controle (NTT DOCOMO, 2014).

Na Figura 9, é apresentada a configuração *Phantom Cell*.

Figura 9 - Arquitetura Phantom Cell com divisão de C/U Plane



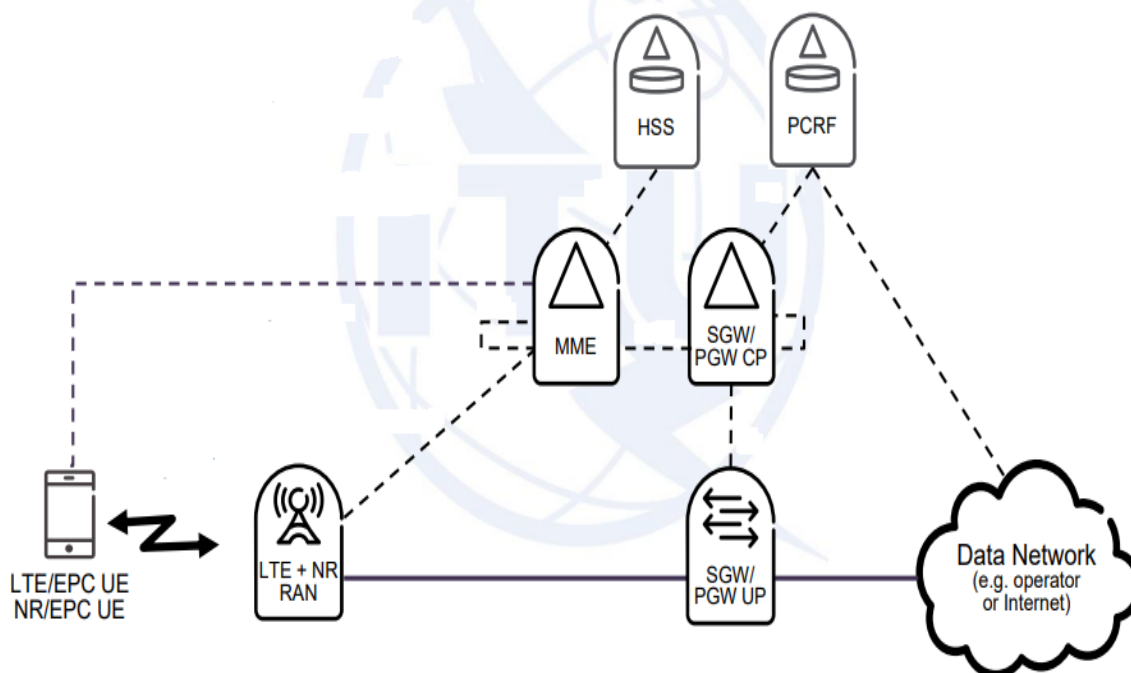
Fonte: NTT DOCOMO (2014, online)

Em altas frequências, pode-se reduzir os elementos da antena e colocá-las mais próximas, formando uma matriz de antenas (*beamforming*) onde os feixes se tornam mais estreitos. Essa técnica é conhecida como *Massive MIMO* e poderá ser um forte aliado em micro células, cobrindo toda a célula e podendo fornecer altas velocidades de transmissão em cenários com alta densidade de tráfego (NTT DOCOMO, 2014).

3.6 EVOLVED PACKET CORE (EPC) E 5G CORE

O *Envolved Packet Core* (EPC) é a arquitetura que oferece suporte à mobilidade do usuário, conexões de dados sem fio, roteamento e autenticação nas redes LTE. A figura 10 mostra uma arquitetura básica do EPC, onde quatro elementos são essenciais: o SGW (*Serving Gateway*), o PGW (*Packet Gateway*), o MME (*Mobility Management Entity*), o HSS (*Home Subscriber Server*) e o PCRF (*Policy and Charging Rules Function*).

Figura 10 - Arquitetura Evolved Packet Core (EPC)



Fonte: ITU (2015, online)

De acordo com o 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) que é uma das principais organizações de padronização da área de telecomunicações, a definição dos componentes do EPC é descrita abaixo:

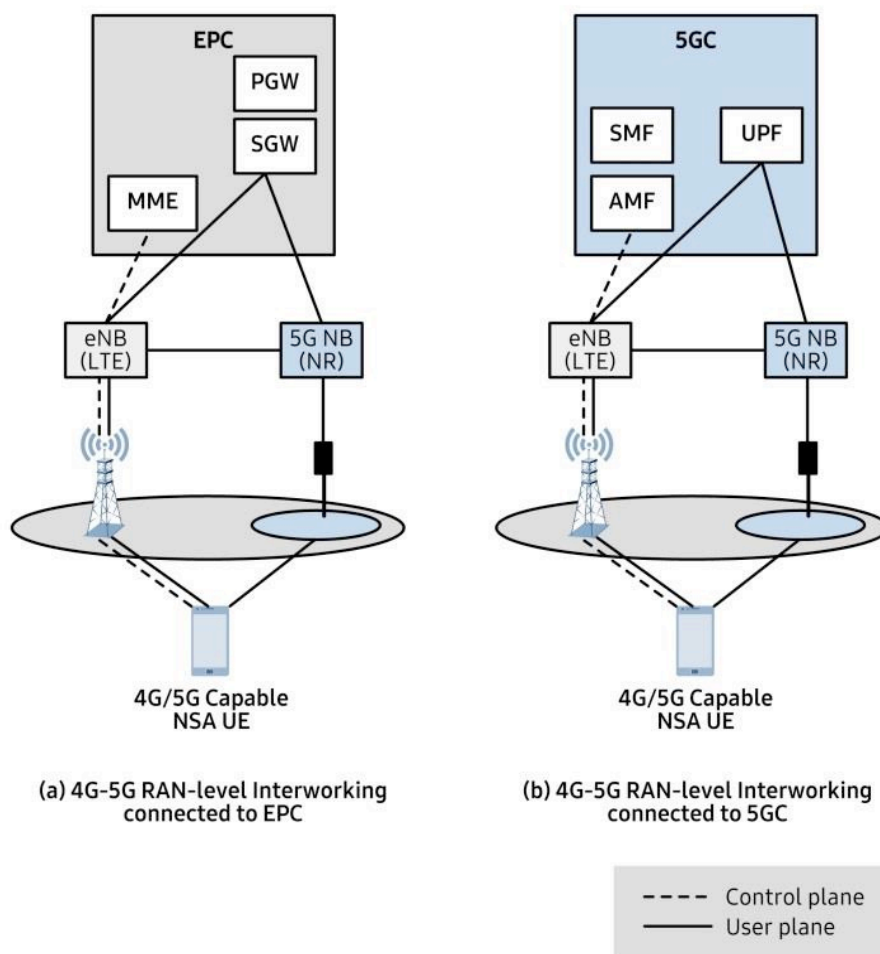
1. **HSS:** É um banco de dados que contém informações relacionadas ao usuário. Ele também fornece funções de suporte em gerenciamento de mobilidade, configuração de chamada e sessão, autenticação de usuário e autorização de acesso.
2. **SGW:** É o ponto de interconexão entre a rede rádio e o EPC para o plano de usuário. Como seu nome indica, esse gateway serve o UE (*User Equipment*) roteando os pacotes IP de entrada e de saída.
3. **PGW:** É o ponto de interconexão entre o EPC e as redes IP externas para o plano de usuário. Essas redes são chamadas de PDN (*Packet Data Network*). O PGW também executa várias funções, como alocação de endereço IP, controle de políticas e diferentes cobranças de serviços e usuários.
4. **MME:** Trabalha com a sinalização relacionada à mobilidade e segurança para acesso ao rádio. É responsável pelo rastreamento e pela paginação do UE no modo inativo.

5. PCRF: É o elemento de rede responsável pelas políticas e controle de carga (PCC – *Policy and Charging Control*). Provê a qualidade de serviço adequada para que os serviços solicitados possam utilizar os recursos apropriados e, é responsável também pela tarifação diferenciada de serviços e usuários.

Esses conceitos estão padronizados nas TS (*Technical Specification*) 23.401 e TS 23.203 expedidas pelo 3GPP, que é o órgão responsável pela padronização das redes móveis.

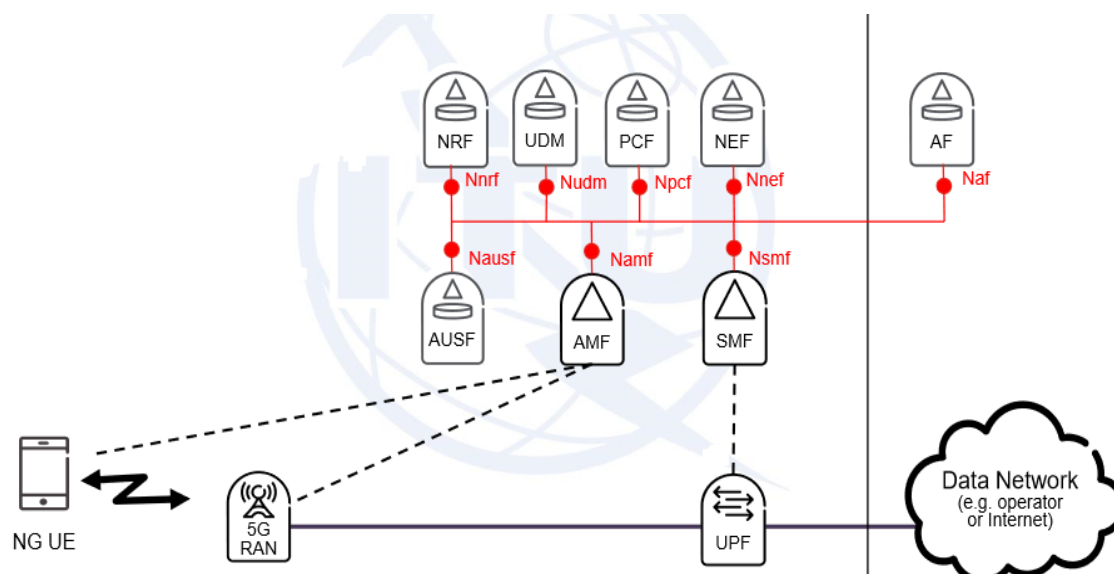
Como mostrado na Figura 11, o EPC pode ser utilizado como core das redes 5G em uma fase inicial da implementação desta tecnologia, não havendo a necessidade dos provedores de serviço e operadoras móveis fazerem um grande investimento em um primeiro momento no núcleo da rede. É importante ressaltar que a utilização do core atual do LTE para o 5G não irá proporcionar todos os benefícios do 5G Core, como utilização das tecnologias NFV e SDN.

Figura 11 - Arquitetura de Migração do Core 4G para o Core 5G



O 3GPP tem trabalhado para evoluir a arquitetura core do 5G, a TS (*Technical Specification*) 23.501 que é definida pelo próprio 3GPP, teve sua última alteração em março de 2018, e definiu novas especificações para o core do 5G. Assim, a arquitetura apresentada anteriormente na figura 10 sofreu mudanças, de forma geral as funcionalidades do EPC foram mantidas, mas houve a implementação de novos componentes que incorporaram essas funcionalidades. A nova arquitetura é representada na Figura 12.

Figura 12 - Arquitetura 5G TS 501.23



Fonte: ITU (2017, online)

Essa nova arquitetura definida pelo 3GPP é chamada SBA (*Service Based Architecture*), uma arquitetura orientada a serviços. Esse tipo de arquitetura permite um desenvolvimento mais flexível e rápido de novos serviços, o que possibilita a conexão de outros componentes sem introduzir novas interfaces específicas.

Alguns dos elementos principais representados na Figura 12, que sofreram mudanças em relação a arquitetura anterior apresentada na Figura 10 são:

- **AMF (Access and Mobility Management Function):** Parte do MME da arquitetura padrão do EPC.
- **SMF (Session Management Function):** Parte do MME e PGW.
- **UPF (User Plane Function):** Parte do SGW e PGW.
- **PCF (Policy Control Function):** Parte do PCRF.
- **AUSF (Authentication Server Function):** Parte do HSS.
- **UDM (Unified Data Management):** Parte do HSS.

3.7 SOFTWARE DEFINED NETWORKING E NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION

3.7.1 NFV (NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION)

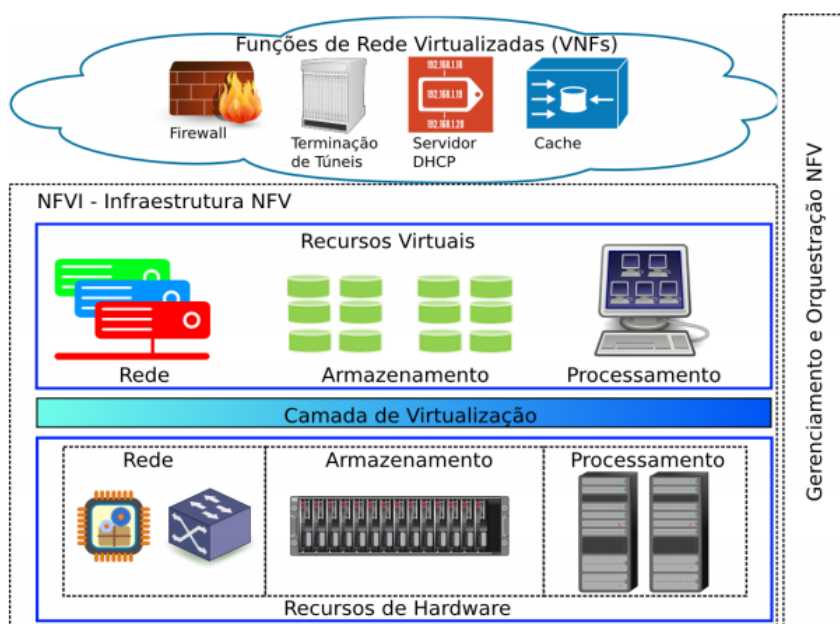
Embora ainda seja uma tecnologia inovadora, a ideia básica por trás do NFV é dissociar o software do hardware. Com o NFV, os provedores de serviços podem implantar várias funções de rede, como firewall ou criptografia, em máquinas virtuais (VM – *Virtual Machine*). Sempre que um cliente solicita uma nova função de rede, os provedores de serviços podem ativar automaticamente VMs para essa função. Aproveitando essa tecnologia, os administradores de rede não precisam investir em hardware proprietário de alto preço para configurar uma cadeia de serviços de dispositivos conectados à rede. E, ao contrário do hardware proprietário, essas funções de rede podem ser instaladas em semanas, em vez de meses (CRANFORD, 2017).

Com relação ao 5G, o NFV ajudará a virtualizar vários dispositivos na rede. Especificamente, o NFV permitirá o fatiamento da rede 5G, permitindo que várias redes virtuais sejam executadas em cima de uma única infraestrutura física. Além disso, o 5G NFV permitirá que uma rede física seja dividida em várias redes virtuais capazes de suportar múltiplas redes de acesso de rádio. O NFV também pode abordar as barreiras ao 5G otimizando o provisionamento de recursos das funções de rede virtual (VNFs – *Virtual Network Functions*) para preço e energia, dimensionando VNFs e garantindo que operem de forma consistente e adequada (CRANFORD, 2017).

A virtualização de funções de rede visa a implementação de entidades de software que rodam sobre a infraestrutura NFV (NFVI – *Network Functions Virtualization Infrastructure*). Portanto, foi definida uma arquitetura de referência para a implementação de NFV pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) que objetiva permitir a instanciação dinâmica de funções de rede virtuais (ou seja, as instâncias de VNFs), bem como a relação entre estas vinculado à dados, controle, dependências, conectividade, entre outros atributos (VICENTE et al, 2014).

A Figura 13 ilustra a arquitetura de alto nível para virtualização de funções de redes. A Arquitetura é dividida em três blocos funcionais principais: funções de rede virtualizadas (VNFs), infraestrutura NFV (NFVI) e, gerenciamento e orquestração NFV.

Figura 13 - Arquitetura NFV



Fonte: Vicente et al. (2014, online)

- 1. Funções de Rede Virtualizadas (VNF):** É a virtualização de funções de redes. Exemplos de funções de rede incluem as desempenhadas por roteadores, *firewalls*, *gateways* residenciais, elementos da arquitetura core 3GPP como o MME (*Mobility Management Entity*), PGW (*Packet Data Network Gateway*), servidores de autenticação, servidores DHCP, entre outros. Uma função de rede pode ser decomposta em diferentes componentes externos, os quais podem ser implementados em diferentes máquinas virtuais. No entanto, o comportamento funcional de uma função de rede deve ser independente, se tal função é virtualizada em múltiplas VMs, em uma única VM ou não é virtualizada.
- 2. Infraestrutura para NFV (NFVI):** É a composição dos recursos de *hardware* e *software* necessários para a implementação, execução, e gerenciamento das VNFs. A infraestrutura para o provimento de NFVI pode ser distribuída em diferentes localidades, de forma que a rede que provê conectividade entre os NFVIPoPs (*Network Function Virtualisation Infrastructure Point of Presence*) faz parte da NFVI. No entanto, a camada de virtualização para os recursos de hardware visto pelas VNFs permite que a NFVI possa ser vista como uma entidade única.

- 3. Gerenciamento e orquestração NFV:** Os gerenciadores da infraestrutura virtualizada controlam a interação da VNF com os recursos físicos sob sua autoridade, realizando gerenciamento de recursos, além de operações como visibilidade da infraestrutura, coleta de informações para gerência de falhas e desempenho. Por outro lado, os gerenciadores das VNFs são responsáveis pelo gerenciamento do ciclo de vida das VNFs, incluindo operações como instanciação, atualização e finalização. Outra entidade envolvida no gerenciamento de NFV é o Orquestrador, responsável pelo gerenciamento dos serviços, orquestrando recursos de infraestrutura e de *software* para as VNFs.

3.7.1.1 Fatiamento de Rede (*Network Slicing*)

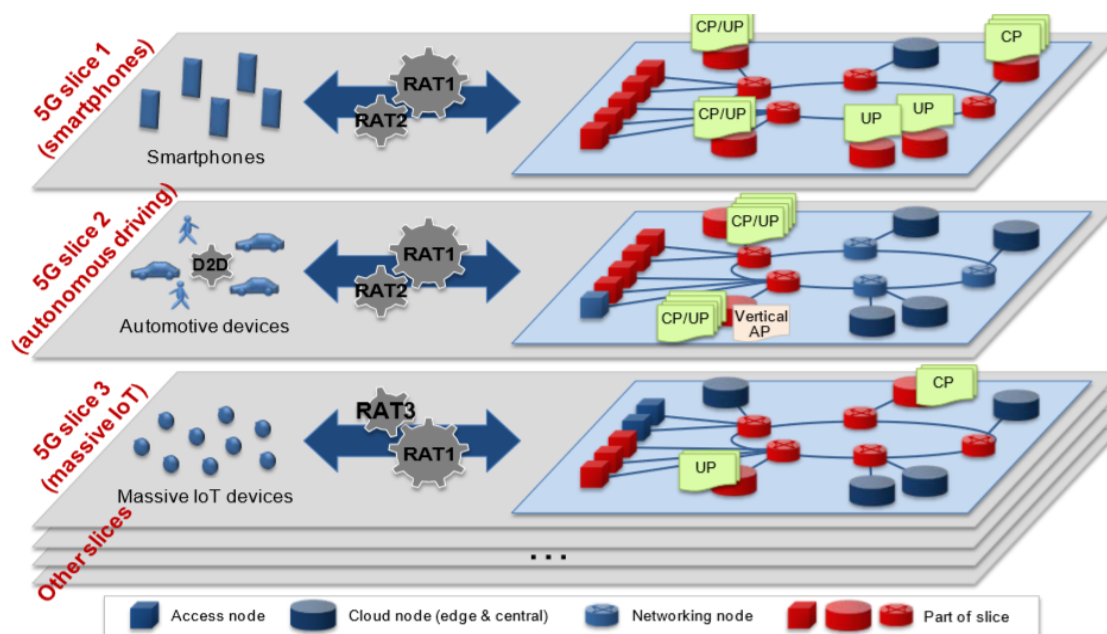
Uma fatia de rede, suporta o serviço de comunicação de um determinado tipo de conexão com uma maneira específica de manipular o plano de controle (*C-plane*) e plano de usuário (*U-Plane*) para este serviço. Para isso, uma fatia 5G é composta de uma coleção de funções de rede 5G e configurações de rádio específicas que são combinadas para o caso de uso ou modelo de negócios específico. Assim, uma fatia 5G pode abranger todos os domínios da rede: módulos de software em execução nos nós da nuvem, configurações específicas da rede de transporte que suportem a localização flexível de funções, uma configuração de rádio dedicada ou até mesmo uma tecnologia de rádio específica, bem como a configuração do dispositivo 5G. Nem todas as fatias contêm as mesmas funções, e algumas funções que hoje parecem essenciais para uma rede móvel podem estar ausentes em algumas das fatias. A intenção de uma fatia 5G é fornecer apenas o tratamento de tráfego necessário para o caso de uso e evitar todas as outras funcionalidades desnecessárias. A flexibilidade por trás do conceito de fatia é um fator-chave para expandir os negócios existentes e criar novos negócios. As entidades de terceiros podem receber permissão para controlar determinados aspectos do fatiamento por meio de uma API adequada, a fim de fornecer serviços personalizados (NGMN, 2015).

Por exemplo, uma fatia 5G para o uso típico de smartphone pode ser realizada definindo funções totalmente distribuídas pela rede. A segurança, a confiabilidade e a latência serão essenciais para um caso de uso automotivo. Para essa fatia, todas as funções necessárias (e potencialmente dedicadas) podem ser instanciadas no nó final da nuvem, incluindo o aplicativo vertical necessário devido a restrições de latência.

Para permitir o embarque de tal aplicativo vertical em um nó de nuvem, devem ser definidas interfaces abertas suficientes. Para uma fatia de 5G suportando dispositivos, algumas funções básicas do plano de controle (*C-plane*) podem ser configuradas, omitindo, por exemplo, quaisquer funções de mobilidade, com recursos baseados em contenção para o acesso. Poderia haver outras fatias dedicadas operando em paralelo, bem como uma fatia genérica fornecendo conectividade de melhor esforço básica, para lidar com casos de uso e tráfego desconhecidos. Independentemente das fatias a serem suportadas pela rede, o 5G deve conter funcionalidade que garanta uma operação controlada e segura das conexões de ponta a ponta e em qualquer circunstância (NGMN, 2015).

A Figura 14 ilustra um exemplo de várias fatias de rede 5G operadas simultaneamente na mesma infraestrutura.

Figura 14 - Fatiamento de rede 5G implementado na mesma infraestrutura



Fonte: NGMN (2015, online).

3.7.2 SDN (SOFTWARE DEFINED NETWORKING)

SDN é uma arquitetura de rede inteligente destinada a minimizar as restrições de hardware. O objetivo da introdução da SDN é abstrair as funções de nível inferior e movê-las para um plano de controle normalizado, que gerencia o comportamento da rede por meio de API (*Application Programming Interface*). A partir de um plano de controle centralizado baseado em software, os administradores de rede podem

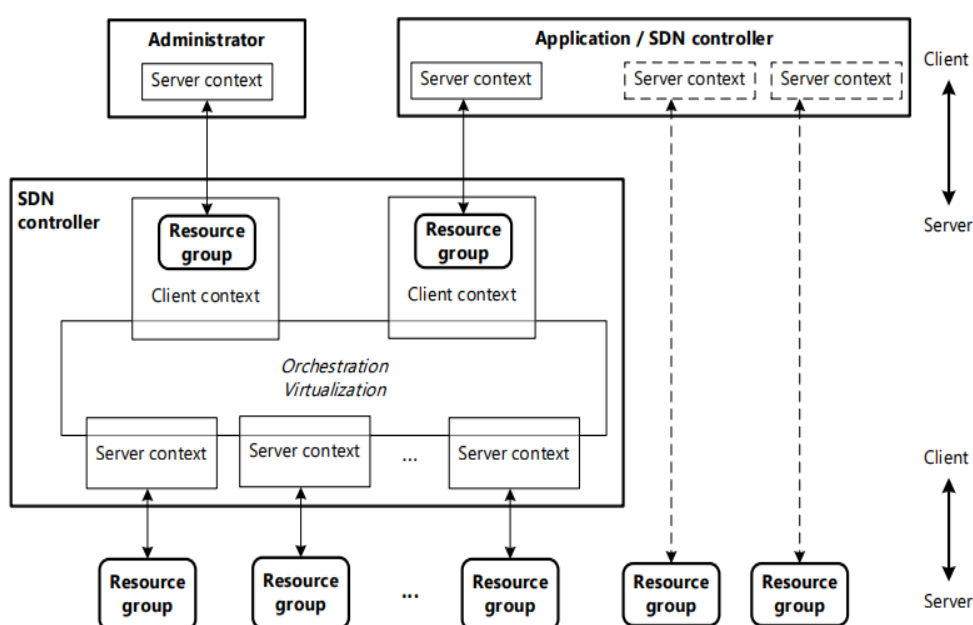
fornecer serviços baseados em software apesar dos componentes de hardware conectados (CRANFORD, 2017).

Com o espectro disponível, o 5G vai expandir os limites do que é possível. É aqui que a SDN se encaixa na imagem 5G. O SDN pode ser usado para fornecer uma estrutura geral permitindo que o 5G funcione em um plano de controle. Ele pode fornecer melhores fluxos de dados à medida que os dados se movem pela rede 5G. Além disso, a arquitetura SDN pode minimizar a largura de banda da rede e melhorar a latência. Por fim, como o SDN pode ser usado em redes 5G, ele fornece uma maneira de gerenciar e automatizar a redundância de rede a partir de um plano de controle centralizado, desviando interrupções importantes e determinando fluxos de dados ideais em tempo real (CRANFORD, 2017).

Existem duas perspectivas distintas sobre a arquitetura. A perspectiva orientada a recursos (*bottom-up*) leva a visão de baixo para cima de um provedor que aloca recursos para os clientes e concentra-se nas necessidades administrativas. A perspectiva orientada ao serviço (*top-down*) é a visão de cima para baixo de um cliente que invoca e gerencia os serviços recebidos do provedor (OPEN NETWORKING FOUNDATION, 2016).

As interfaces entre os componentes da arquitetura SDN e as relações cliente-servidor são exibidas na Figura 15.

Figura 15 - Arquitetura SDN



Fonte: Open Networking Foudation (2016, online)

O controlador SDN está no centro de um loop de feedback, ele intermedia os requisitos do cliente com disponibilidade de recursos, suportando otimização de tempo real, políticas de mudanças no estado da rede, parâmetros de serviço e fluxo de tráfego (OPEN NETWORKING FOUNDATION, 2016).

Um contexto de cliente representa o material necessário e suficiente no controlador SDN para suportar um determinado cliente, onde um cliente pode ser um cliente, parceiro ou mesmo outra entidade dentro da administração que possui o controlador. Inclui todos os atributos de um serviço conforme solicitado pelo cliente e pode conter informações específicas do serviço, necessárias para mapear atributos de serviço para a sua realização (OPEN NETWORKING FOUNDATION, 2016).

Um contexto de servidor é a contraparte simétrica de um contexto de cliente. Contém o necessário e suficiente para interagir com um grupo de recursos subjacentes, o que poderia ser, por exemplo, um elemento de rede ou os recursos virtuais contratados de um domínio de um parceiro (OPEN NETWORKING FOUNDATION, 2016).

3.8 TESTES COM 5G EM AMBIENTES CONTROLADOS

3.8.1 A primeira demonstração de serviço de realidade virtual sem fio baseada em tecnologia 5G implementado pela ZTE

A ZTE Corporation, importante fornecedora internacional de soluções de tecnologia de telecomunicações, corporativas e de consumo para a Internet Móvel, demonstrou serviços de realidade virtual sem fio na 12ª Exposição de Realização de Inovação Tecnológica do Plano Quinquenal. A ZTE usou o smartphone Axon 7 para esta demonstração em uma estação base *Massive MIMO Pre5G*, que seria usar antecipadamente certas tecnologias 5G em redes 4G e torná-las compatíveis com os terminais comerciais 4G existentes, para que os usuários possam desfrutar de uma experiência semelhante à 5G antes da comercialização formal de 5G.

De acordo com Zhu Fusheng, engenheiro da ZTE, esta foi a primeira demonstração de serviços de Realidade Virtual (VR – *Virtual Reality*) em tempo real do mundo baseada na tecnologia 5G, um marco no advento da era da Internet Móvel, preparando totalmente os serviços de VR para entrar no ambiente cotidiano das pessoas.

Durante a exposição, a ZTE forneceu aos clientes óculos de VR que não possuem um cabo de dados físico conectado, já que os clientes poderiam ser

conectados à rede sem fio Pre5G no local através de seus terminais sem fio. Este sistema garante alta largura de banda, baixo atraso e alta mobilidade de serviços de VR, e, assim, abraça a era realidade virtual/realidade aumentada antes da adoção da rede 5G.

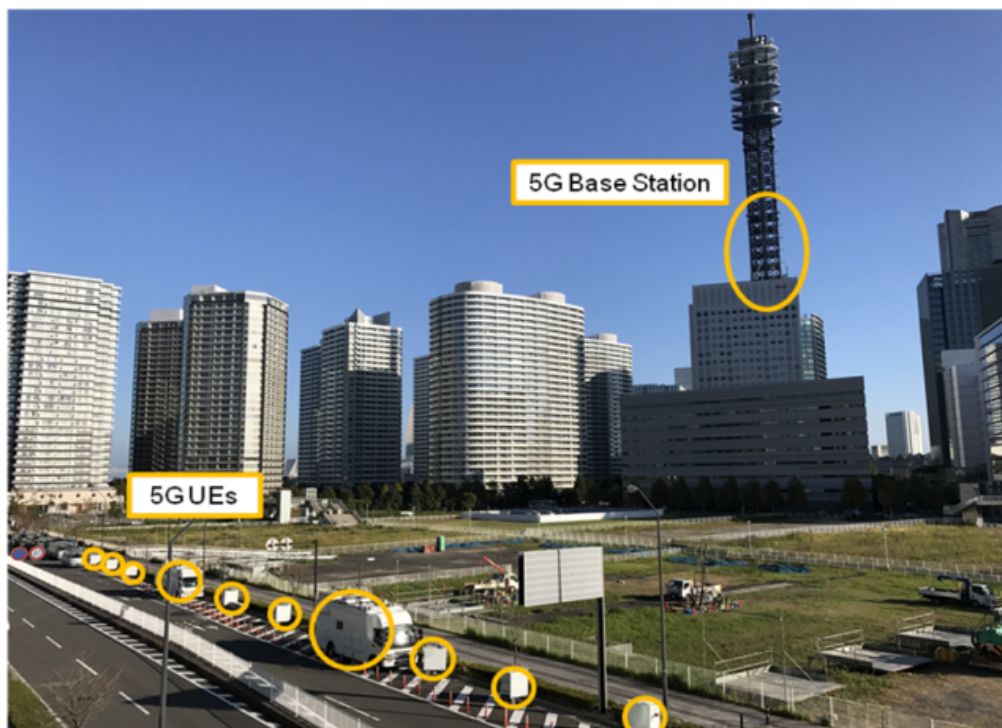
Com o rápido crescimento dos serviços de Internet móvel, os serviços de VR continuam a ser populares, mas a desvantagem é que os serviços de VR impõem exigências severas sobre a largura de banda e o atraso. Para obter uma experiência de VR perfeita, a taxa de terminal deve ser de pelo menos 60 Mbps e o atraso de serviço deve ser menor que 20 ms. Isso ocorre porque a perspectiva dos serviços de VR é muito maior do que a dos telefones celulares, a resolução é maior e as visões binoculares, que possibilitam um grande alcance da visão, são tridimensionais. Assim, os serviços de VR devem ser suportados por uma rede ubíqua, com uma largura de banda ultra grande, tempo de espera zero e experiência geral de excelência. A solução *Massive MIMO Pre5G* da ZTE aplica antecipadamente algumas tecnologias 5G para redes comerciais 4G, melhorando a eficiência do espectro da rede 4G em quatro a seis vezes. Além disso, esta solução é compatível com os terminais existentes para que os usuários 4G possam desfrutar de uma experiência de acesso similar ao 5G e, portanto, é um portador perfeito de vídeos HD e serviços de VR móveis (ZTE, 2016).

3.8.2 Primeiro teste de campo do 5G na banda de 4,5 GHz

A Huawei anunciou dia 16 de novembro de 2016, o primeiro teste de campo em larga escala do 5G na faixa de 4,5 GHz usando estrutura de quadros em conformidade com as padronizações do 3GPP 5G *New Radio* (NR). No teste conduzido em conjunto com a NTT DOCOMO, a taxa de transferência total do usuário de 11,29 Gbps e a latência do plano de usuário menor que 0,5m segundo foram alcançadas na cobertura de macro célula de um cenário real de aplicação urbana em Yokohama, Japão. Este avanço é de importância fundamental para moldar o futuro do 5G e os esforços conjuntos das duas empresas em testes de campo 5G.

A Figura 16 mostra o descrito. A célula macro é composta de uma estação base que trabalha com 200 MHz de largura de banda, 64 TRXs (*transceiver*) e 23 equipamentos de usuário, tanto do tipo estático quanto móvel (HUAWAI, 2016).

Figura 16 - Primeiro teste em campo em escala 5G



Fonte: Huawei (2016, online)

Segundo Takehiro Nakamura, vice-presidente e diretor administrativo do Laboratório 5G da NTT DOCOMO, o sucesso no teste de campo em larga escala 5G na banda de 4,5 GHz foi de grande importância para a indústria para garantir a comercialização do 5G. A NTT DOCOMO e a Huawei vêm expandindo sua colaboração em 5G de *Research & Development* para iniciativas internacionais de harmonização do espectro para 5G desde dezembro de 2014. Juntamente com a Huawei, a NTT DOCOMO continuará promovendo o 5G tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista do ecossistema (HUAWEI, 2016).

3.8.3 Campo de Avaliação para Verificar a Tecnologia de Coordenação de Banda Alta e Baixa de 5G

China Mobile Research Institute, China Mobile Xangai e Huawei estabeleceram conjuntamente um campo experimental 5G para verificar a Tecnologia de Coordenação de Banda Alta e Baixa de 5G no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Huawei em Xangai. Este campo pode atender aos requisitos da verificação para o protótipo 5G e possui a capacidade de verificar o desempenho da rede 5G com um alto grau de simulação em redes reais. Além disso, este campo também pode ser

usado para mostrar a experiência do novo serviço possibilitado pela futura tecnologia 5G (HUAWEI, 2017).

Portanto, o estabelecimento do campo é de grande importância para promover a maturidade da tecnologia 5G e da indústria. Após a conclusão do campo experimental 5G, que inclui sete locais de banda baixa 5G com cobertura contínua, será atendido o pré-requisito tecnológico para testar e verificar os casos de uso 5G antes do seu lançamento comercial (HUAWEI, 2017).

O resultado do teste que a Huawei, o China Mobile Research Institute e a China Mobile Shanghai realizaram em conjunto demonstraram que a taxa média de dados do usuário pode chegar a 1,7 Gbps, com uma largura de banda de 200 MHz em frequência baixa. Enquanto isso, tendo como pré-requisito a alta confiabilidade, a tecnologia de frequência *mmWave*, que tem bandas de espectro acima de 24 GHz, podem melhorar a capacidade da rede em pontos de acesso de maneira eficiente em modos de conectividade dupla com redes de baixa frequência de 5G e de ondas milimétricas (HUAWEI, 2017).

Por outro lado, o campo de avaliação 5G pode fornecer a capacidade de alta largura de banda, baixa latência, para suportar o upload de paisagem de alta resolução tirada por uma câmera panorâmica de 360 graus. E, conseqüentemente, os usuários finais podem desfrutar da experiência organoléptica imersiva em tempo real que é produzida pela rede de testes 5G através do terminal VR remotamente (HUAWEI, 2017).

3.8.4 A primeira antena 5G do território de Matera

TIM, Fastweb e Huawei, lançaram em Matera na Itália, a primeira antena 5G como parte da experimentação promovida pelo Ministério do Desenvolvimento Econômico, graças à qual as cidades de Bari e Matera estarão entre as primeiras do mundo cobertas por novas tecnologias.

A conexão de dados 5G, realizada através da utilização da faixa de frequência de 3,7/3,8 GHz, representa a primeira instalação do plano de desenvolvimento da rede do projeto, que prevê atingir, até 2018, 75% de cobertura da área de experimentação das duas cidades (FASTWEB, 2018).

O enorme potencial do 5G, que no decorrer dos testes de laboratório em janeiro de 2018 atingiu uma velocidade recorde de 3 Gbps e tempos de latência de rádio

muito baixos da ordem de 2 ms, também foram confirmados no campo (FASTWEB, 2018).

Especificamente, em Matera foi instalado um equipamento de rádio equipado com tecnologia "*Massive-MIMO*", uma antena capaz de gerenciar simultaneamente dezenas de sinais de rádio de entrada e saída, capaz de se adaptar dinamicamente à posição de usuários individuais e a demanda de tráfego, como mostra a Figura 17. A antena fabricada pela Huawei garante, portanto, as características ótimas para o desenvolvimento de aplicações avançadas 5G (FASTWEB, 2018).

Figura 17 - Antena com Tecnologia "*Massive-MIMO*"



Fonte: Ilsole24ore (2018, online)

3.8.5 Rede de testes 5G fornecendo acesso à Internet para navios

Tallink, Telia, Ericsson e Intel criaram uma área de teste e exploração 5G no Porto de Tallinn na Estônia. A rede de testes 5G está fornecendo conectividade à Internet para os navios como mostrado na Figura 18. Esta é uma das primeiras redes de teste 5G operacionais com um ecossistema de parceiros, clientes e consumidores.

Figura 18 - Navio com rede 5G



Fonte: Ericsson (2017, online)

Com milhões de passageiros anualmente nas rotas do Mar Báltico, o Tallink Group é uma das maiores empresas de transporte marítimo da Europa. Cada um dos navios de cruzeiro transporta até 2.000 passageiros. Com a rede WiFi conectada à tecnologia 5G, os clientes da Tallink podem usar uma excelente conexão à Internet durante a atracação dos navios nos portos (ERICSSON, 2017).

A solução usa o sistema de teste de rádio 5G da Ericsson, composto de antena integrada de rádio 5G e *baseband*, em conjunto com a Plataforma de Teste Móvel Intel 5G para transferir dados de passageiros junto com dados dos sistemas de informação e comunicações do navio (ERICSSON, 2017).

Testar e explorar casos de uso do 5G em ambiente real dá aos desenvolvedores da Ericsson conhecimento prático e *feedback* sobre a nova tecnologia, ajudando-os a realmente atender às necessidades e expectativas dos clientes (ERICSSON, 2017).

3.9 5G NO BRASIL

O 3GPP, que é responsável por padronizar tecnologias para as redes móveis, aprovou em abril de 2018, o primeiro padrão para os rádios 5G, especificados no *Release 15*. Inicialmente, a atual rede LTE continuará sendo utilizada para prover internet móvel e gradativamente a rede 5G será implementada em frequência licenciadas e não-licenciadas (AQUINO, 2018).

No Brasil, a Anatel pretende licitar em 2019 a frequência de 3,5 GHz, uma das faixas já identificadas como propícias para receber o 5G. Será realizado este ano um workshop para embasar a regulação desse edital a ser lançado no próximo ano. Uma das afirmações feitas no MWC (*Mobile World Congress*) este ano em Barcelona pela Anatel foi que: “O Brasil saiu bem atrasado no 3G, no 4G conseguiu lançar o serviço praticamente junto com os demais países, e com o 5G podemos fazer o mesmo” (AQUINO, 2018).

Porém, atualmente a banda de frequência de 3,5Ghz está sendo utilizada pelos receptores de TV aberta via satélite, as chamadas parabólicas, e para esta faixa de frequência ser limpa e direcionada para o uso do 5G serão necessárias inicialmente algumas medidas de quantificação de aparelhos existentes e que funcionam operando nessa faixa, pois a maioria desses aparelhos não são homologados e nem registrados (AQUINO, 2018).

Em fevereiro de 2018, Leonardo de Moraes, conselheiro da Anatel, anunciou que planeja realizar ainda em 2018 reuniões com todas as empresas envolvidas na implementação do 5G no Brasil para dar subsídios à Anatel fazer a análise de impacto regulatório, elaborar as regras do edital e lançá-lo em 2019. Essa frequência é uma das que já foi escolhida pela maioria dos países no mundo para receber a 5G (AQUINO, 2018).

É interessante ainda ressaltar que em outubro de 2017, a Anatel apresentou em reunião preparatória para a conferência de radiofrequência da União Internacional de Telecomunicações (UIT), um estudo que mostra a viabilidade técnica para se usar a faixa de 26 GHz para o 5G. Essa faixa no Brasil é utilizada por diferentes soluções de serviços de satélite e, a preocupação do Brasil é evitar que haja interferência entre esses serviços e o 5G. Agostinho Souza, gerente de frequência da Anatel, declarou para a imprensa especializada que esse estudo poderá ser utilizado para uma provável escolha dessa banda para a 5G na conferência da UIT, que será realizada em 2019 (AQUINO, 2017).

O Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) realizou com sucesso um teste de 5G no final de 2017 em Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais. A tecnologia desenvolvida pelo Inatel pretende aumentar o raio de alcance das atuais células de até 10km para 50km com banda larga de qualidade até a borda da célula. O objetivo do Inatel é que as áreas rurais do Brasil possam ser atendidas com qualidade, beneficiando de forma educacional, social e econômica as áreas mais remotas,

aumentando a capacidade de produção do campo e levando mais oportunidades de formação (BUCCO, 2018).

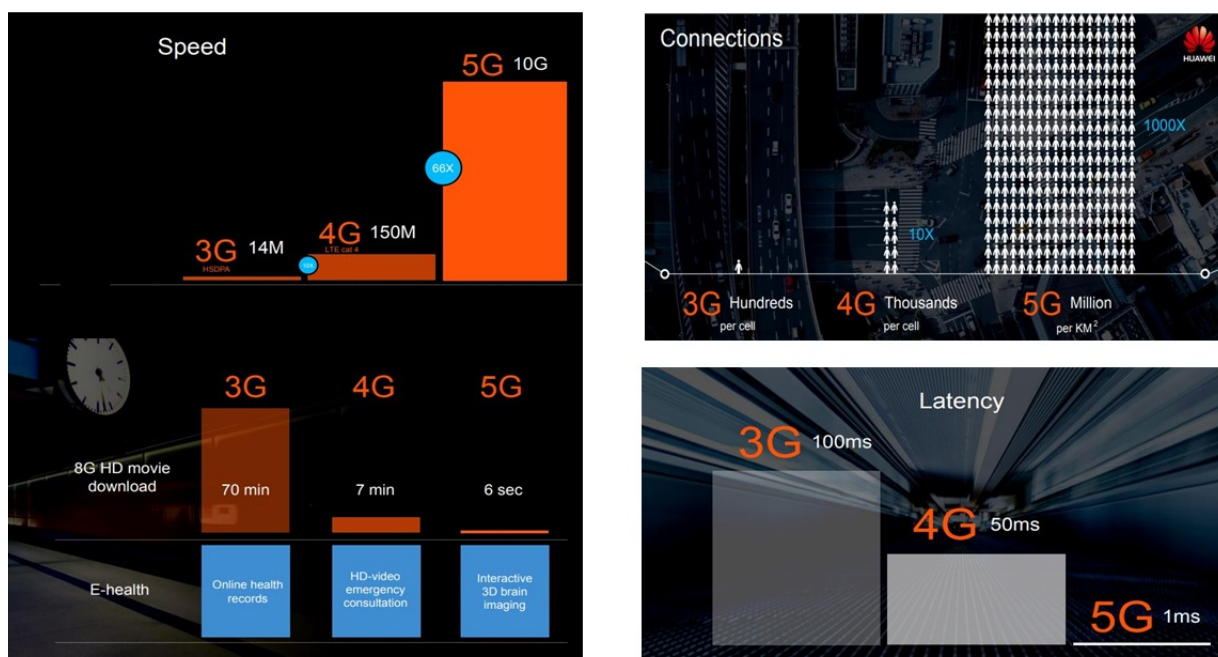
Várias são as aplicações que o 5G proporcionará, a infraestrutura necessária para o funcionamento de carros autônomos, o suporte a tecnologias de segurança com implementação de câmeras que podem ser acompanhadas em tempo real, evoluções na área da saúde podendo ser criados sistemas de monitoramento de consultas ou de disponibilidade de recursos dos hospitais, a utilização de câmeras para monitoramento do tráfego de veículos, sem contar com todas as facilidades que uma conexão com a internet traz. O Brasil, assim como vários outros países, está no caminho para receber essa tecnologia que revolucionará nosso estilo de vida e nossas cidades.

4 A REDE MÓVEL 5G NAS CIDADES INTELIGENTES

Como já foi dito, o 5G irá melhorar consideravelmente as experiências móveis de milhões de usuários de smartphones e irá revolucionar nossas casas através da Internet das Coisas. Mas os benefícios do 5G irão muito além disso, a ponto de melhorar as próprias cidades em que vivemos e trabalhamos. O 5G fornecerá velocidades de dados significativamente mais rápidas, capacidade de dados muito maior, melhor cobertura e menor latência do que o 4G.

O 5G é finalmente a tecnologia sem fio de alta velocidade que tem capacidade e potencial para transformar cidades normais em inteligentes. Comparando o 5G com o 4G ou 3G como mostra a Figura 19, este irá precisar de centenas de milhares de novas pequenas células para alcançar conexões de alta velocidade e um maior número de usuários ao mesmo tempo (PHAN; QURESHI, 2017).

Figura 19 - Comparação de Redes com 5G



Fonte: Huawei (2018, online)

O conceito de Cidade Inteligente define a conexão de múltiplos dispositivos digitais de baixa potência para gerenciar eficientemente casas, escritórios e outros locais através da tecnologia emergente da Internet das Coisas. Como a população de áreas urbanas está aumentando em todo o mundo, torna-se difícil gerenciar todas as coisas de uma forma eficaz. A implementação do 5G permitirá que a Internet das Coisas tenha uma infraestrutura eficiente e torne as cidades cada vez mais inteligentes. Bilhões de dispositivos serão conectados na rede móvel de altíssima velocidade na primeira fase do 5G que será iniciada em 2020. Para as Cidades

Inteligentes, muitos dados precisam ser coletados e mantidos e isso só pode ser possível com uma tecnologia que proporcione maior velocidade e maior capacidade em comparação as tecnologias atuais (PHAN; QURESHI, 2017).

Figura 20 - Conceito de cidade inteligente em 5G



Fonte: Sito (2017, online)

O conceito do 5G mostrado na Figura 20 é o mais simples, cobrindo a maioria das aplicações em Cidades Inteligentes. Três principais tendências que irão ter um grande impacto com a ajuda da Internet das Coisas são: objetos inteligentes, conexões em tempo real e processos automatizados (PHAN; QURESHI, 2017).

4.1 BENEFÍCIOS DO 5G NAS CIDADES INTELIGENTES

As grandes empresas do setor de telefonia móvel estão trabalhando juntas para padronizar o 5G. Globalmente, as discussões do 3GPP focaram na formulação do padrão 5G nos últimos anos. No entanto, a maioria concorda que, em sua forma final, o 5G oferecerá: latência abaixo em torno de 1ms, capacidade de fornecer um *throughput* de download de 10Gbps e uma maior capacidade de rede, permitindo um número muito maior de dispositivos conectados simultaneamente (DELOITTE, 2017).

Claramente, o *throughput* é apenas uma das melhorias que o 5G oferece. Enquanto o 4G se concentra no fornecimento de *throughput* alto e boa capacidade para os usuários de forma individual, o 5G permitirá mais aplicações industriais, e

pode ser um grande condutor tecnológico na digitalização industrial. O objetivo do 4G é conectar pessoas, enquanto o objetivo do 5G é conectar tudo, pessoas e coisas.

Um ponto extremamente importante que o 5G proporcionará é a eficiência de energia da rede móvel. A demanda por dados móveis aumentou consideravelmente com as melhorias feitas ao longo dos anos nas redes móveis. Como o número de dispositivos conectados nas redes móveis aumentou, um maior consumo de energia causou maior pressão sobre o desempenho energético. A eficiência energética reduz o custo operacional melhorando o desempenho energético da rede, entre outros benefícios, como melhor sustentabilidade e eficiência de recursos (DELOITTE, 2017).

O 5G deverá suportar nos próximos 10 anos um acréscimo de tráfego 1.000 vezes maior do que o atual com a metade do consumo de energia que é utilizado hoje. Um dos aspectos em que se trabalha especificamente é o que está relacionado com a rede de sinalização. As operadoras querem que a sinalização seja melhorada para que o consumo de energia derivado da utilização dos recursos de rádio seja diminuído e, se justificarem segundo a aplicação que estiver utilizando cada usuário.

A sinalização específica de uma função de rede deve ser transmitida somente quando for necessária. Com a chegada da Internet das Coisas, deverá ser tomada medidas adicionais para evitar que um aumento repentino de dispositivos tente acessar a rede de maneira simultânea. Além disso, 5G comportará a integração de muitos mais pontos de acesso através de novas infraestruturas, como as *small cells*.

As operadoras estão trabalhando para que sua infraestrutura fique em *standby* em momentos onde não está sendo utilizada e seja ativada rapidamente quando se haja necessidade de algum serviço. Além disso, as operadoras também estão trabalhando para que as estações base que perdem a conectividade energética e operam com baterias, tenham essa função para degradar, caso necessário, ou manter determinada energia somente para ser utilizada em caso de necessidade dos serviços públicos de segurança.

A tecnologia 5G foi ainda desenvolvida para permitir configurações de rede virtuais simples e alinhar melhor os custos da infraestrutura com as necessidades dos aplicativos. Essa nova abordagem será útil de muitas maneiras, mas, particularmente, permitirá que as operadoras móveis 5G desfrutem de uma parte do mercado de Internet das Coisas, por meio da entrega de soluções de conectividade rentáveis para aplicativos de largura de banda menor e pouca potência (DELOITTE, 2017).

Assim, para utilizar o verdadeiro potencial das redes 5G, as operadoras de rede móvel precisarão mudar do hardware físico para a virtualização, que pode beneficiar várias partes da rede, melhor gerenciando a arquitetura através da virtualização das funções da rede (NFV – *Network Function Virtualization*). Através de instâncias ou fatiamento de serviço virtual, as operadoras podem também controlar melhor a qualidade da experiência (QoE – *Quality of Experience*) de cada assinante, garantindo os requisitos necessários a cada e diferente aplicação (COMMSCOPE, 2017).

O 5G será uma rede mais flexível, definida por software e não mais baseada em hardware. Isso significa que as configurações de rede virtual podem ser geradas de acordo com as necessidades de cada aplicação, de forma rápida, dinâmica e flexível. As redes 5G não funcionarão isoladamente, farão parte de um ecossistema de telecomunicações mais amplo, com oportunidades de interoperabilidade, incluindo *backhaul* (parte responsável pela ligação entre o núcleo da rede e as sub-redes periféricas) para lidar com a capacidade. De fato, a fibra ótica, wi-fi e outras infraestruturas serão um importante componente complementar para ajudar o 5G a atingir seu potencial (DELOITTE, 2017).

Em um futuro não muito distante, nossas cidades serão lugares mais inteligentes, limpos e seguros para se viver. As instalações díspares nas quais contamos serão capazes de se comunicar, aumentando sua eficiência e ajudando a minimizar os riscos da vida moderna na cidade, como congestionamento, poluição e consumo excessivo de energia. No coração de cada uma dessas cidades inteligentes, haverá uma rede 5G proporcionando comunicação e integração entre pessoas e aplicações.

4.2 CONECTIVIDADE DOS SERVIÇOS COM O 5G

O 5G irá fornecer um novo nível de conectividade subjacente para transformar os serviços e criar novos ecossistemas digitais que irão entregar baixos custos, economia de tempo e novas amenidades para os habitantes de uma cidade.

4.2.1 Setor de Saúde

Graças à sua capacidade de resposta e rapidez, a tecnologia 5G possibilitará melhorias no atendimento à distância, transmissão de imagens, coleta de dados e agregação e análise de dados da saúde a longa distância.

A conectividade 5G permitirá a adoção de atendimento por videoconferência de alta qualidade, possibilitando que as pessoas realizem consultas médicas pelos seus smartphones ou dispositivos. Sendo uma tecnologia de conectividade confiável e segura, o 5G permitirá também a adoção em alta escala da utilização de dispositivos digitais de monitoramento de integridade da saúde, ilustrado na Figura 21. A conectividade ininterrupta do 5G irá evoluir o uso de tecnologias como acelerômetros, que são encontrados na maioria dos smartphones, transformando-os em uma ferramenta que pode alertar os serviços de assistência se um usuário sofrer algum tipo de acidente, bem como utilizar sensores que podem compartilhar os sinais vitais do usuário para ajudar a administrar doenças crônicas (TELEFÓNICA, 2018).

De acordo com o relatório *ConsumerLab* de 2017 feito pela Ericsson, as áreas principais se tratando de geração de receita para os serviços de saúde no Brasil, são aplicativos para pacientes e para hospitais. Nesse estudo foram reveladas as vontades dos consumidores em relação ao impacto do 5G no futuro do sistema de saúde.

O relatório indica que as redes da próxima geração serão cruciais na transformação do sistema de saúde ao fornecer uma transmissão eficiente com um sistema de retorno e alertas, mobilidade e baixa latência. As redes se tornarão um veículo para diversos aplicativos, incluindo o monitoramento remoto por meio de dispositivos vestíveis da área médica, interação virtual entre o médico e o paciente, além de cirurgias realizadas por robôs de forma remota. As principais vantagens incluem a descentralização dos serviços de saúde, que saem dos hospitais e vão para onde o usuário estiver. Os dados dos pacientes estão cada vez mais centralizados, transformando hospitais em centros de dados (COMPUTERWORD, 2017).

Figura 21 - Dispositivos que monitoram a gestão da saúde



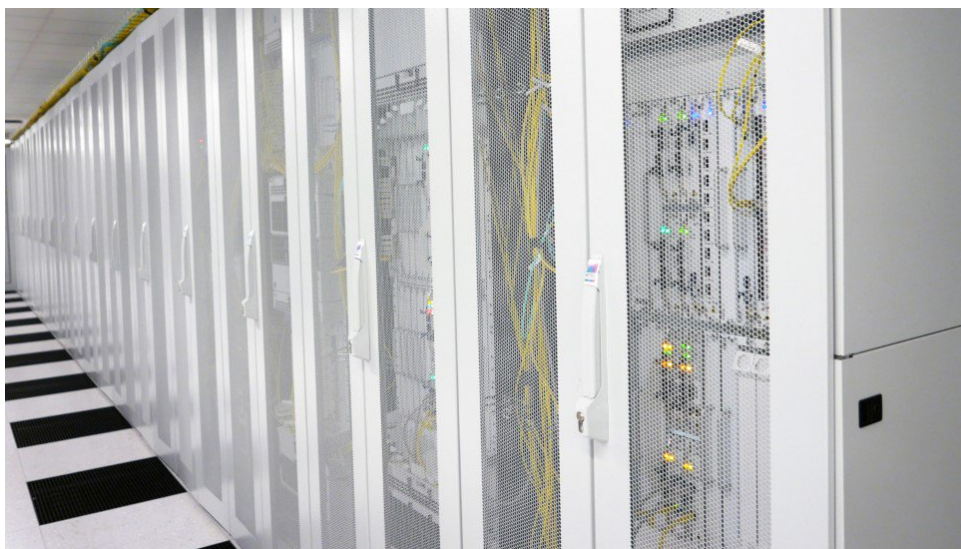
Fonte: Ericsson (2017, online)

4.2.2 Setor de Energia

A energia verde tem sido um tema bastante comentado nos últimos anos. Para reduzir as emissões de CO₂ (Dióxido de Carbono), consumidores e concessionárias de energia usam cada vez mais fontes de energia renováveis, como eólica, solar e biomassa. A necessidade de energia renovável, gerenciamento de demanda inteligente e avanços na eficiência de energia levam os sistemas de energia a grandes mudanças (ERICSSON, 2018).

Para o pleno uso da energia verde é preciso evitar os picos de consumo de energia, suavizando a utilização dessa energia e proporcionando um equilíbrio entre demanda e fornecimento.

Foi por esse motivo, que a empresa Ericsson e a Fortum, maior empresa de energia da Finlândia, assinaram um contrato para implementar sistemas de proteção de energia e baterias de um *data center* de forma mais eficiente, o que está mostrado na Figura 22 (ERICSSON, 2018).

Figura 22 - *Data Center* da Ericsson

Fonte: Ericsson (2018, online)

O balanceamento da demanda e fornecimento de energia podem ser conseguidos utilizando as baterias do *data center* da Ericsson. Ou seja, o *data center* torna-se uma rede virtual de produção de energia que a Fortum pode oferecer à rede da Fingrid (operadora de transmissão de energia da Finlândia). Além disso, usando as tecnologias IoT e 5G, desenvolvidas pela Ericsson, com comunicação de dados confiável e em tempo real, as concessionárias podem manter um fornecimento equilibrado na rede. A ideia é que no momento de pico de consumo de energia, a Fortum desligue o fornecimento de energia para o *data center* por um período muito curto de tempo, diminuindo o pico e permitindo a estabilização da rede de energia, mantendo a frequência nos limites definidos (ERICSSON, 2018).

Assim, a rede 5G abrirá novas oportunidades para os produtores de energia, permitindo que novas fontes de energia e usinas virtuais sejam conectadas de forma confiável.

4.3 TESTES EM CAMPO DO 5G EM CIDADES INTELIGENTES

4.3.1 5G ao vivo na Coreia

O movimento em direção ao 5G significa Comunicações Massivas entre Máquina permitindo que cidades, transportes e infraestrutura transmitam dados em tempo real para melhor manutenção e maior eficiência operacional.

Quando o transporte e os veículos forem equipados com conectividade 5G, isso revolucionará a maneira como viajamos. A comunicação do veículo com outro veículo e do veículo com a infraestrutura tornará as viagens mais seguras e mais ecológicas,

possibilitando ainda que o transporte público funcione com mais eficiência. Os serviços e modelos de negócios podem ser suportados, considerando-se sensores embutidos em estradas, ferrovias e aeródromos para comunicação entre si e/ou com veículos inteligentes.

Em fevereiro de 2018, a Ericsson e a Korea Telecom, juntamente com a Intel, conduziram um teste 5G conectando um carro a uma rede 5G ativa como mostrado na Figura 23. O teste aconteceu no centro de Seul, uma capital com 25 milhões de habitantes. No denso ambiente urbano, um vídeo em 4K foi transmitido de e para o carro, dando uma ideia de como o 5G mudará a experiência para os passageiros de carros.

Figura 23 - Conexão de um carro a rede 5G



Fonte: Ericsson (2018, online)

O *throughput* de *downlink* de mais de 900 Mbps e, ao mesmo tempo, o impressionante *uplink* de 600 Mbps atendia a conexão de alta qualidade. Usando a banda de 28 GHz, a rede permaneceu estável mesmo em difíceis condições de propagação do carro em movimento (ERICSSON, 2018).

A solução usa o sistema de teste de rádio 5G da Ericsson em conjunto com a plataforma de avaliação automotiva Intel 5G. À medida que a implementação das primeiras redes 5G comerciais se aproxima, diferentes situações são levadas às ruas para testar cenários do dia a dia que serão realidade no futuro próximo (ERICSSON, 2018).

4.3.2 Recorde mundial de velocidade do 5G em 2017

Em parceria com a SK Telecom e a BMW Coréia, a Ericsson usou a avançada tecnologia 5G para rastrear um carro conectado viajando a até 170 km/h, demonstrando assim as velocidades de transmissão de dados em uma rede 5G como na Figura 24.

Figura 24 - Demonstração velocidades de transmissão na rede 5G



Fonte: Ericsson (2017, online)

Usando avançado *beamforming* e rastreamento de feixe, a conexão de rede de alto desempenho suportava transmissão de dados ponto-a-ponto de um carro conectado viajando a até 170 km/h com velocidades de *downlink* de 3,6 Gbps. A rede de teste compreendia quatro pontos de transmissão de rádio operando na faixa de 28GHz e mostrou alta produtividade sustentada durante os testes. A taxa de transferência acima de 1,5 Gbps foi mantida enquanto a transmissão de dados foi trocada de um ponto de transmissão para outro (ERICSSON, 2017).

Com base na tecnologia 5G da Ericsson, o rastreamento de feixe preciso foi ativado mesmo em velocidades muito altas, abrindo a porta para novos serviços 5G e fornecendo outro exemplo concreto de mobilidade contínua.

4.4 MODELOS DE CIDADES INTELIGENTES NO BRASIL

O conceito de Cidades Inteligentes ainda é pouco difundido no território brasileiro. Ainda assim, algumas cidades do Brasil já implantaram as tecnologias necessárias e estão fazendo história quando o assunto é Cidade Inteligente.

4.4.1 Campus Jundiaí

A gestão de resíduos da cidade de Jundiaí (São Paulo) no começo do ano de 2018 foi premiada durante a sexta edição do Prêmio InovaCidade concedido pelo *Instituto Smart City Business America*. Jundiaí é considerada um pólo de referência quando se trata de gestão de resíduos sólidos. O trabalho traz reflexos satisfatórios para o meio ambiente e para a cidade. Com essa gestão, foram economizados recursos públicos, que podem ser utilizados em outras áreas da administração.

Chegam ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos (GERESOL) da Prefeitura de Jundiaí quinze mil toneladas de restos da construção civil mensalmente. Esse material passa por tratamento e se transforma em matéria-prima para obras de pavimentação e de drenagem da cidade. De acordo com especialistas, Jundiaí faz parte do seleto grupo de municípios do país que tratam de forma correta o que sobra de demolições e da construção civil. Apenas 20% das cidades brasileiras fazem essa gestão de forma adequada (JUNDIAÍ, 2018).

Além disso, Jundiaí foi a primeira cidade no Brasil a adotar no transporte público a tecnologia de pagamento sem contato, que permite pagar a passagem de ônibus com cartão de crédito, *smartphones* e *wearables* (tecnologia vestível) como mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Tecnologia para pagamento de passagem com cartão



Fonte: Jundiaí (2018, online)

4.4.2 Barueri (São Paulo)

Barueri em São Paulo, terá aproximadamente sessenta mil medidores digitais inteligentes instalados nas residências da cidade pela Eletropaulo, empresa fornecedora de energia elétrica. Esta é primeira cidade do Brasil a ter quase toda a sua distribuição de energia formada por redes inteligentes através do sistema *Smart Grid*, mostrado na Figura 26.

O *Smart Grid* é uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica, que permitirá, entre muitos outros benefícios, saber em tempo real o quanto foi consumido em residências, comércios, empresas ou qualquer outro imóvel. Do lado da empresa de distribuição, esse modelo facilita a detecção e solução de falhas e problemas. Outro benefício do *Smart Grid* é o controle remoto dos aparelhos eletrônicos no imóvel, podendo acioná-los ou desligá-los de longe. É uma ótima forma de economizar energia e desligar aparelhos que ficaram ligados em casa ou no escritório quando ninguém vai utilizá-los. O plano é ter o *Smart Grid* instalado em toda a cidade até 2019 (DESCOLA, 2017).

Figura 26 - Sistema Smart Grids



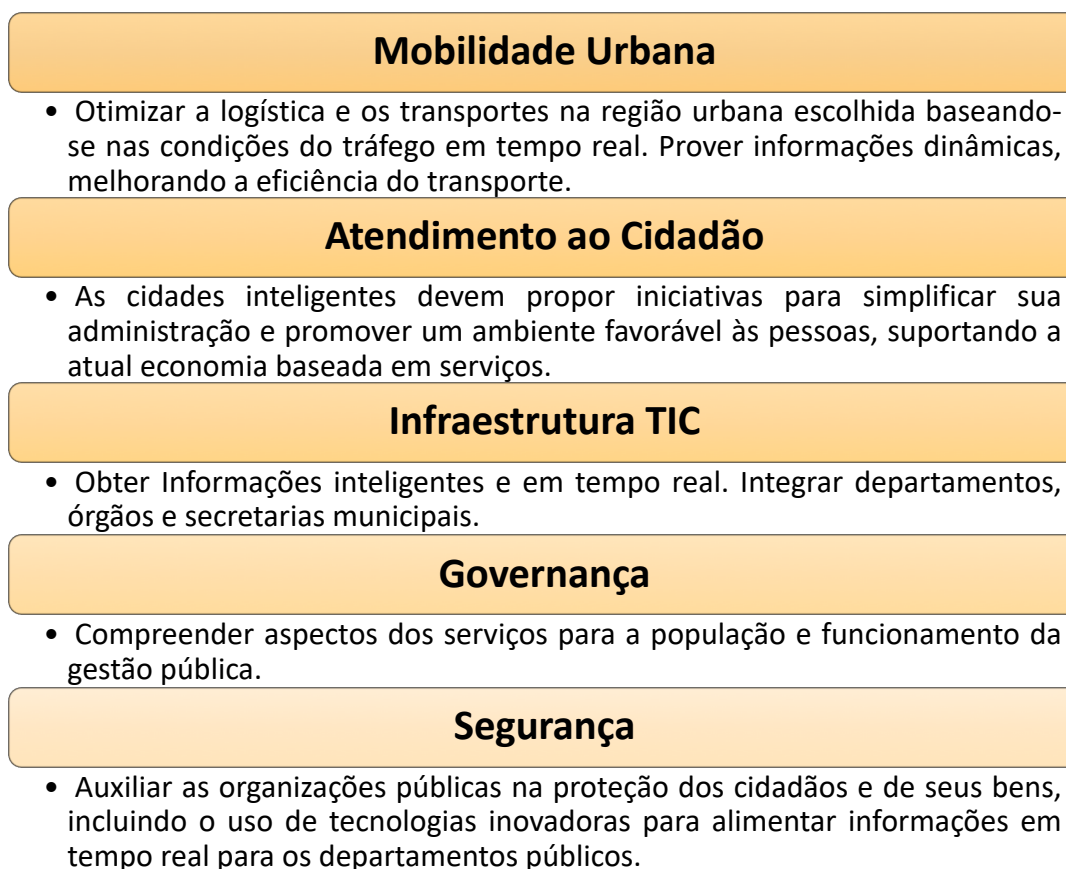
Fonte: Descola (2017, online)

4.5 PROPOSTA TEÓRICA DE SEMÁFOROS INTELIGENTE EM BELÉM DO PARÁ USANDO TECNOLOGIA 5G

A implementação de uma cidade inteligente proporciona experiências que visam um melhor gerenciamento e monitoramento dos serviços, gerando assim maior confiabilidade (Tang, 2011). Explorando esse conceito, a proposta teórica de uma aplicação de Cidade Inteligente com infraestrutura de comunicação 5G na cidade de Belém do Pará tem como objetivo melhorar o fluxo de veículos em duas das principais vias da cidade.

Esse projeto teórico aborda cinco conceitos fundamentais, mostrados na Figura 27, a saber:

Figura 27 - Conceitos Fundamentais



Fonte: Autores (2018)

A busca por mecanismos de melhoramento no fluxo de veículos deixou de ser apenas uma questão de planejamento urbano, mas está vinculada principalmente à ideia de proporcionar às pessoas uma melhor qualidade de vida.

Assim, a proposta para Belém é a implementação de serviços de transporte inteligente através da adaptação dos sinais de trânsito ao fluxo de veículos de forma automática e instantânea, com base na medição do tráfego em tempo real.

As vias escolhidas inicialmente estão situadas no Bairro Nazaré, e são a travessa Quintino Bocaiuva e a Avenida Nazaré. Essas vias possuem um grande problema de fluxo excessivo de veículos em horários de pico, causando neste cenário congestionamentos constantes. A proposta consiste no uso de câmeras para monitoramento das vias em tempo real, possibilitando que a passagem de carros seja preferencial para a via que apresentar maior tráfego de carros. As câmeras têm a função de capturar as imagens em HD (*High Definition*) e enviá-las ao Centro Integrado de Comunicação e Controle (CIOC), que é responsável pelo processamento das informações recebidas pelas câmeras. Com os dados obtidos do fluxo de veículos

nessas vias, o CIOC poderá então otimizar a utilização dos semáforos de forma automática, entregando a melhor solução para o fluxo de veículos e diminuindo ou evitando os congestionamentos. Como a quantidade de dados que as câmeras irão precisar enviar em tempo real será muito alta, a infraestrutura 5G será necessária para a transmissão dessas informações. A Figura 28 mostra as vias que serão utilizadas para a proposta de implementação.

Figura 28 - Representação das vias utilizadas na proposta



Fonte: Google Maps (2018, online)

A proposta de utilização de semáforos inteligentes terá alguns requisitos que deverão ser atendidos referentes a infraestrutura de comunicação 5G. Como as imagens precisam ser analisadas em tempo real para que o CIOC possa tomar as decisões do estado do semáforo, a rede de comunicação deve ter alta confiabilidade e disponibilidade. Os requisitos obrigatórios para a 5G estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos de Infraestrutura 5G

Requisitos de Infraestrutura 5G	
<i>Throughput</i>	Alta taxa de transferência de dados para vídeos HD em tempo real.
Capacidade	Alta capacidade de transmissão de dados.
Latência	Extremamente baixa, para que a transmissão de dados seja realizada e as informações sejam tratadas em tempo real.
Frequência	Possivelmente utilização a faixa de 3,5 GHz.
Flexibilidade	Implementação rápida e simples de novas instâncias no núcleo de rede (através da utilização das tecnologias NFV e SDN) para transmissão dos vídeos.

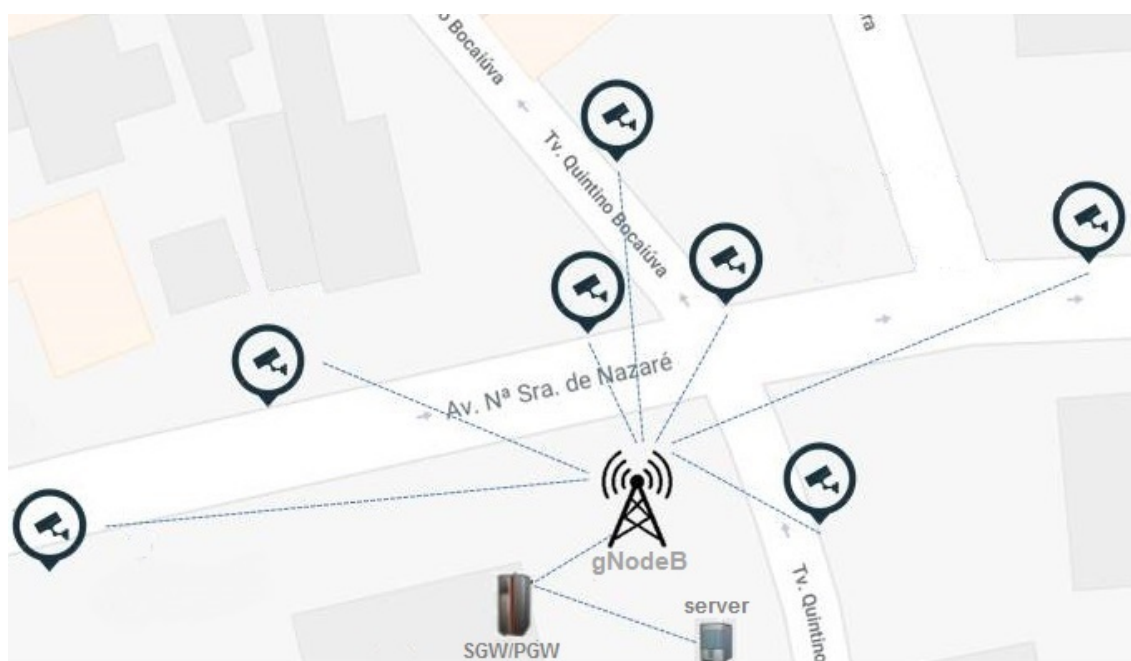
Fonte: Autores (2018)

Os requisitos acima listados são os principais para a infraestrutura de rede 5G suportar a aplicação de câmeras de monitoramento para controle de tráfego do Bairro Nazaré. Conforme citado no Capítulo 3, a Anatel pretende licitar a faixa de frequência de 3,5GHz para a utilização da tecnologia 5G, por isso essa frequência provavelmente será a utilizada inicialmente no Brasil e, conseqüentemente em Belém.

A comunicação das câmeras é feita diretamente com os gNodeB, que é o componente estação-rádio-base da rede 5G, responsável pela cobertura da rede móvel. Inicialmente a rede de rádio 5G pode utilizar a atual rede core do LTE, o EPC. Assim, os pacotes de vídeo enviados pelas câmeras 5G são recebidos pelos gNodeBs, que os transmite ao SGW do EPC, e logo após são encaminhados para o PGW que é responsável pelo envio dos pacotes para a aplicação ou servidor do CIOC.

A Figura 29 apresenta a distribuição das câmeras utilizadas e, a interconexão do gNodeB com o SGW/PGW.

Figura 29 - Infraestrutura 5G para monitoramento de trânsito



Fonte: Autores (2018)

Na infraestrutura apresentada na Figura 30 é ilustrado o componente de rede SGW/PGW, esse elemento engloba as funcionalidades do SGW e PGW em um único hardware como parte do atual EPC que atenderá ao mesmo tempo as tecnologias 4G e 5G. Com o aumento do tráfego de pacotes de vídeo na aplicação proposta e na rede 5G como um todo, o EPC deve ser substituído pelo 5G Core baseado na arquitetura

SBA padronizada na especificação técnica 23.501 do 3GPP, o que trará flexibilidade ao core de rede através da utilização das tecnologias NFV e SDN.

Com a implementação do 5G Core, a infraestrutura 5G torna-se dinâmica. Então, a mesma infraestrutura utilizada para a aplicação de semáforos inteligentes, pode ser utilizada para outros fins. Essa é uma das principais vantagens da rede 5G utilizando NFV e SDN. Através do Fatiamento da Rede (*Network Slicing*) é possível adicionar outros casos de usos na mesma infraestrutura, sendo que outros serviços podem ser implementados com outras funções específicas e requisitos de rede.

A infraestrutura de servidores e softwares do CICOC é responsável por armazenar as informações recebidas das câmeras de vídeo 5G, e processar a melhor solução para o encaminhamento do tráfego de veículos nas vias em questão. Como a quantidade de dados recebida será muito alto, é necessário um repositório de dados confiável e de grande capacidade, esse aspecto se enquadra em um dos principais conceitos apresentados nessa pesquisa que é o *BIG DATA*. Será essencial um software de alto desempenho para analisar e processar as informações coletadas pelas câmeras. Além disso, essas informações referentes ao tráfego diário poderão ser usadas posteriormente para estudo pelos órgãos de trânsito.

Além do controle do tráfego, o sistema proposto também irá gerar economia de combustível e redução na emissão de gases poluentes, pois irá reduzir o tempo de espera de carros ligados e ainda irá diminuir o tempo de percurso dos motoristas.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou analisar os conceitos de cidades inteligentes, e sua grande importância e benefícios para o desenvolvimento de uma cidade tradicional. Ligado a esse conceito, apresentar uma infraestrutura de comunicação que permitisse o melhor desempenho das cidades inteligentes, que é a rede móvel 5G. A importância do 5G para o desenvolvimento de cidades inteligentes é essencial, promovendo a qualidade de rede móvel necessária para as aplicações e usuários as cidades. Assim, foi sugerida uma proposta teórica para implementar em Belém do Pará serviços de semáforos inteligentes usando a rede 5G.

Com essa pesquisa, verificou-se os principais aspectos das cidades inteligentes, e sua forte relação com a internet das coisas e o *Big Data*, que são necessários para a construção dessas cidades. A aplicação desse conceito torna as cidades melhores em vários aspectos como: saúde, educação, segurança, e outras áreas importantes.

O 5G foi o principal ponto explorado nessa pesquisa, pois essa tecnologia é a melhor solução para uma infraestrutura de comunicação eficiente e segura, para os diversos requisitos de uma cidade inteligente. É importante destacar os principais benefícios do 5G, que são: latência baixa, *throughput* extremamente alto, alta capacidade de dispositivos conectados, flexibilidade, simplicidade e rápida implementação de novos serviços através do uso das tecnologias NFV (*Network Functions Virtualization*) e SDN (*Software Defined Networking*). Com o NFV, há a virtualização de diversas funções da rede, possibilitando um melhor gerenciamento dos recursos disponíveis, e uma economia de custo, por não necessitar de equipamentos proprietários de alto valor de aquisição. O SDN irá minimizar as restrições de hardware, fornecendo uma rede e serviços totalmente baseados em software, garantindo flexibilidade e agilidade.

Com esses pontos apresentados, torna-se claro que as cidades inteligentes em conjunto com o 5G, são um avanço tecnológico que trará inúmeros benefícios, além de novas áreas de aplicações e soluções para diversos problemas de uma cidade, incluindo para o projeto proposto para Belém, para a adaptação dos semáforos para a controle do fluxo de trânsito em tempo real, pois os requisitos necessários para sua implantação, para que ele funcione de forma eficiente estão contidos na tecnologia 5G.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As dificuldades encontradas foram relacionadas a disponibilidade de literatura referente ao assunto deste trabalho já que o 5G se trata de uma tecnologia ainda em desenvolvimento e padronização. Alguns aspectos técnicos da tecnologia ainda estão em discussão. Então, essa dificuldade foi resolvida utilizando artigos de grandes operadoras de telefonia móvel e órgãos padronizadores.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

As aplicações e casos de uso que irão surgir com a chegada da rede móvel 5G são incontáveis, o 5G se tornará a infraestrutura para muitos tipos de comunicação, e isso dará a oportunidade de haver vários estudos e implementações sobre esta tecnologia nas cidades. Com a aplicação do 5G em Cidades Inteligentes, novos serviços e aplicações tornam-se mais viáveis, pois o 5G será a tecnologia que dará toda a infraestrutura de comunicação que uma Cidade Inteligente necessita. O trabalho futuro então seria, levando em conta os requisitos necessários, tornar Belém uma cidade inteligente com o auxílio do 5G, começando pela proposta desse trabalho, que é a implantação de semáforos inteligentes pela cidade.

6 REFERÊNCIAS

3GPP. **Release 15**. 2017. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/release-15>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

5G.CO.UK. **5G in the Smart City**. 2017. Disponível em:< <https://5g.co.uk/guides/5g-smart-city/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

AMAZON. **O que é Big Data**. 2017. Disponível em: < <https://aws.amazon.com/pt/big-data/what-is-big-data/>> Acesso em: 29/03/18.

AHMED, Ejaz et al. **The role of big data analytics in Internet of Things**, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128617302591>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

AQUINO, M. **Inatel cria tecnologia exclusiva 5G para o campo**. 2017. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/inatel-cria-5g-para-o-campo/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

_____. **Anatel pensa em licitar frequência de 3,5 ghz em 2019, para acelerar 5G no país**. 2018. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/anatel-pensa-em-licitar-frequencia-de-35-ghz-em-2019-para-acelerar-5g-no-pais/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

BALAKRISHNA, Chitra. **Enabling Technologies for Smart City Services and Applications**. In: 2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 6., 2012, Conferência. Paris, set. 2012.

BOUSKELA, Maurício et al. **Caminho para as Smart Cities Da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente**. 2016. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7743/Caminho-para-as-smart-cities-Da-gestao-tradicional-para-a-cidade-inteligente.pdf?sequence=12&isAllowed=y>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

BUCCO, R. **Inatel testa com sucesso 5G em Santa Rita do Sapucaí**. 2018. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/inatel-testa-com-sucesso-5g-em-santa-rita-do-sapuca/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

CRANFORD, Nathan. **The role of NFV and SDN in 5G**. 2017. Disponível em: <<https://www.rcrwireless.com/20171204/fundamentals/the-role-of-nfv-and-sdn-in-5g-tag27-tag99>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

COHEN, Boyd. **What exactly is a Smart City?**. 2013. Disponível em: <http://goo.gl/YNuyyi>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

COMPUTERWORD. **Com 5G, pacientes terão mais controle sobre os cuidados com a saúde**. 2017. Disponível em: <http://computerworld.com.br/com-5g-pacientes-terao-mais-controle-sobre-os-cuidados-com-saude>. Acesso em: 01 mar. 2018.

DESCOLA. **Além das capitais: 4 cidades inteligentes pelo Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://descola.org/drops/alem-das-capitas-4-cidades-inteligentes-pelo-brasil/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

EJAZ, W. et al. **Internet of Things (IoT) in 5G Wireless Communications**. IEEE Access , v.4, p. 10310 - 10314, 2016.

ERICSSON. **5G deployment considerations**. 2018. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/assets/local/narratives/networks/documents/eab-18001198-uen-rev-a.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018

_____. **5G Systems**. 2017. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/assets/local/publications/white-papers/wp-5g-systems.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

_____. **New 5G speed world record**. 2017. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/en/networks/cases/new-world-record-speed-with-5g>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **5G sets sail in Estonia**. 2017. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/en/networks/cases/5g-telia-tallink>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **5G live in Korea**. 2018. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/en/networks/cases/5g-live-in-korea>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **5G Radio Access**. 2015. Disponível em: <<http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

_____. **5G and IoT enable energy demand balancing for Fortum in Finland**. 2018. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/en/news/2018/1/new-partnership-with-fortum-in-finland>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

_____. **From Healthcare to Homecare**. 2017. Disponível em: <<https://www.ericsson.com/us/en/trends-and-insights/consumerlab/consumer-insights/reports/transforming-healthcare-homecare#5gdecentralizingcarecentralizingdata>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

FASTWEB. **TIM, Fastweb e Huawei accendono a Matera la prima antenna 5G sul território**. 2018. Disponível em: <<http://www.fastweb.it/corporate/media/comunicati-stampa/tim-fastweb-e-huawei-accendono-a-matera-la-prima-antenna-5g-sul-territorio/>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

GSMA. **Understanding the Internet of Things (IoT)**. 2014. Disponível em: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2014/08/cl_iot_wp_07_14.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2018.

_____. **Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile.** 2014. Disponível em: <<https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

HAKIMA. **Big Data Analytics: você sabe o que é.** 2016. Disponível em: <<http://www.bigdatabusiness.com.br/voce-sabe-o-que-e-big-data-analytics/>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

HANCKE, Gerhard et al. **The Role of Advanced Sensing in Smart Cities**, 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/13/1/393/htm>>. Acesso em: 28 abr. 18.

HUAWEI. **Vodafone and Huawei Complete World's First 5G call and Dual Connectivity using 3GPP R15 NSA Standard.** 2018. Disponível em: <<http://www.huawei.com/en/press-events/news/2018/2/First-5Gcall-3GPP-Based-5G-Commercial-System>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

_____. **Huawei and DOCOMO Conduct World's First 5G Large Scale Field Trial in the 4.5 GHz Band.** 2016. Disponível em: <http://www.huawei.com/en/press-events/news/2016/11/World-First-5G-Large-Scale-Field-Trial?ic_source=fmwc17&ic_medium=hwdc>. Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **Huawei and DOCOMO Conduct World's First 5G Large Scale Field Trial in the 4.5 GHz Band.** 2016. Disponível em: <http://www.huawei.com/en/press-events/news/2016/11/World-First-5G-Large-Scale-Field-Trial?ic_source=fmwc17&ic_medium=hwdc>. Acesso em: 01 abr. 2018.

IEEE. **The Institute, Special Report: The Internet of Things.** 2014. Disponível em: <<http://theinstitute.ieee.org/static/specialreport/thelinternetoflthings>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

_____. **Towards a definition of the Internet of Things (IoT),** 2015. Disponível em: <www.iot.ieee.org>. Acesso em: 21 abr. 2018.

ILSOLE24ORE. **A Matera si accende la prima antenna 5G.** 2018. Disponível em: <http://www.ilsole24ore.com/art/tecnologie/2018-03-05/a-matera-si-accende-prima-antenna-5g-151640.shtml?uuid=AEy06YBE&refresh_ce=1>. Acesso em: 07 abr. 2018.

INATEL. **Smart Cities e IoT – Uma visão geral sobre Cidades Inteligentes.** 2017. Disponível em: <<http://www.inatel.br/biblioteca/pos-seminarios/seminario-de-redes-e-sistemas-de-telecomunicacoes/2017-2/9650-smart-cities-e-iot-uma-visao-geral-sobre-cidades/file>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

_____. **Inatel realiza 1ª demonstração de uma tecnologia nacional para 5G.** 2017. Disponível em: <<http://www.inatel.br/imprensa/noticias/pesquisa-e-inovacao/3084-inatel-realiza-1-demonstracao-de-uma-tecnologia-nacional-para-5g>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

JALALI, Roozbeh et al. **Smart City Architecture for Community Level Services Through the Internet of Things**. In: 2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, 18., 2015, Congresso. Paris, fev. 2016

JUNDIAÍ, Prefeitura Municipal. **Jundiaí é destaque em reportagem sobre cidades inteligentes**. 2018. Disponível em: <<https://jundiai.sp.gov.br/noticias/2018/02/19/jundiai-e-destaque-em-reportagem-sobre-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

_____. **Gestão de resíduos ganha prêmio em evento sobre cidades inteligentes**. 2018. Disponível em: <<https://jundiai.sp.gov.br/noticias/2018/04/18/gestao-de-residuos-e-premiada-em-evento-sobre-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

_____. **Jundiaí é destaque no maior evento da América sobre inovação**. 2018. Disponível em :<<https://jundiai.sp.gov.br/noticias/2018/04/16/iniciativas-ganham-destaque-no-maior-evento-sobre-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

KHAN, Rafiullah et al. **Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges**. 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6424332/>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

KAVANAGH, S. **What is 5G New Radio (5G NR)**. 2017. Disponível em: <https://5g.co.uk/guides/what-is-5g-new-radio/>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

MARSCH, Patrick et al. **5G Radio Access Network Architecture – Design Guidelines and Key Considerations**. 2017. Disponível em: <https://www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/5g_radio_access_network_architecture.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2018.

NACIONAL INSTRUMENTS. **5G: The Internet for Everyone and Everything**. 2015. Disponível em: <http://www.ni.com/pdf/company/en/Trend_Watch_5G.pdf. Acesso em: 24 mar. 2018.

NGMN. **5G White Paper**. 2015. Disponível em: <https://www.ngmn.org/fileadmin/ngmn/content/downloads/Technical/2015/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2018.

NTT DOCOMO. **DOCOMO 5G white paper**. 2014. Disponível em: <https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_5g/DOCOMO_5G_White_Paper.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2018.

OPEN NETWORKING FOUNDATION. **TR-526 Applying SDN Architecture to 5G Slicing**. 2016. Disponível em: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/Applying_SDN_Architecture_to_5G_Slicing_TR-526.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2018.

PATEL, K; PATEL, S. **Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges**.

International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC), Índia v. 6, n. 5, p. 6122-6131, mai. 2016.

PHAN, A; QURESHI, S, T. **5G impact On Smart Cities**. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315804922_5G_impact_On_Smart_Cities>. Acesso em: 01 abr. 2018.

PARVEZ, Imtiaz et al. **A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions**. 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1708.02562.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

SMARTCITIESWORLDFORUMS. **US operator plans to rollout 5G fixed wireless services in 5 major cities**. 2017. Disponível em: <<http://www.smartcitiesworldforums.com/news/smart-cities-north-america/5g-iot-na/710-us-operator-plans-to-rollout-5g-fixed-wireless-services-in-5-major-cities>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **Which US state has been named as the country's top 'connected city'**. 2017 Disponível em:< <http://www.smartcitiesworldforums.com/news/smart-cities-north-america/5g-iot-na/487-which-us-state-has-been-named-as-the-country-s-top-connected-city>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

SITO. **LuxTurrim5G builds the key enablers for Digital Smart City – Single 5G network based on smart light poles**. 2017. Disponível em: <<https://www.sito.fi/en/30951/luxturrim5g-builds-the-key-enablers-for-digital-smart-city-single-5g-network-based-on-smart-light-poles/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

SOARES, C, A. et al. **Implantação de Semáforo Inteligente como Viabilizador Urbano e Ferramenta de Bem Estar Social**. Maceió, v. 4, n. 1, p. 147-158, mai. 2017.

TANG, G, Q. **Smart Grid Management & Visualization**. In: Proceedings of 8th International Conference & Exposition on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT), p. 1-6, 2011.

TEIXEIRA, W. **Jornalismo computacional em função da “Era do Big Data”**. 2011. Disponível em: <<http://seer.casperlibero.edu.br/index.php/libero/article/view/329/303>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

TELESÍNTESE. **3GPP define o padrão para rádios 5G**. 2018. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/3gpp-define-o-padrao-para-radios-5g/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

VELLO, P. **Fatiando as redes para as cidades inteligentes**. 2017. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/fatiando-as-redes-para-as-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

VICENTE, Rafael et al. **Network Function Virtualization: Perspectivas, Realidades e Desafios**. 2014. Disponível em:

<<http://www.dca.fee.unicamp.br/~chesteve/pubs/MC-SBRC14-NFV.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

YUKI, S, H. **Projeto de Controlador Inteligente para Semáforo**. 2008. Trabalho (Conclusão de curso) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-São Paulo, 2008.

ZANELA, Andrea et al. **Internet of Things for Smart Cities**. Revista IEEE Internet of Things, v. 1, p. 22-32, fev. 2014.

ZTE. **The world's first 5G technology-based wireless VR service demonstration implemented by ZTE**. 2016. Disponível em: <<http://www.zte.com.cn/global/about/press-center/news/201662ma2/201662ma2>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

ZDNET. **Tecnologia de desacoplamento do uplink-downlink da Huawei demos 5G**. 2017. Disponível em: <<http://www.zdnet.com/article/huawei-demos-5g-uplink-downlink-decoupling-tech/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **Is 5G the missing link for autonomous vehicles, smart cities, and a brave new world?**. 2017. Disponível em: <<http://www.zdnet.com/article/is-5g-the-missing-link-for-autonomous-vehicles-smart-cities-and-a-brave-new-world/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.