

Universidade Federal do Pará - UFPA
Instituto de Tecnologia - ITEC
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEE

Heurística para Provisionamento Dinâmico de Recursos de Hardware em Redes Híbridas de Acesso via Rádio Considerando o Efeito de Maré

Igor Wenner Silva Falcão

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém - Pará - Brasil
2020

Igor Wenner Silva Falcão

Heurística para Provisionamento Dinâmico de Recursos de Hardware em Redes Híbridas de Acesso via Rádio Considerando o Efeito de Maré

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso

Belém - Pará - Brasil

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**“HEURÍSTICA PARA PROVISIONAMENTO DINÂMICO DE RECURSOS DE
HARDWARE EM REDES HÍBRIDAS DE ACESSO VIA RÁDIO
CONSIDERANDO O EFEITO DE MARÉ”**

AUTOR: IGOR WENNER SILVA FALCÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM: 06/03/2020

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso
(Orientador – PPGE/UFPA)

Prof. Dr. Marcelino Silva da Silva
(Avaliador Interno – PPGE/UFPA)

Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo
(Avaliador Externo ao Programa – PPGE/UFPA)

VISTO:

Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes
(Coordenadora do PPGE/ITEC/UFPA)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F178h Falcão, Igor
Heurística para Provisionamento Dinâmico de Recursos de
Hardware em Redes Híbridas de Acesso via Rádio Considerando o
Efeito de Maré / Igor Falcão. — 2020.
72 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Diego Cardoso
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal
do Pará, Belém, 2020.

1. 5G. 2. Efeito de Maré . 3. Heurística. 4. Provisionamento.
I. Título.

CDD 621.3821

*“Aos meus pais
Wanneida Costa Silva e Denis Adriano de Holanda Falcão,
por sempre estarem comigo em todos os momentos”.*

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me concedido o privilégio de chegar a este momento tão especial e significativo na minha vida e agradecer por todas as oportunidades que a mim foram concebidas. Gostaria também de agradecer aos meus pais o Sr. Denis Falcão e a Sra. Wanneida, aos meus avós, o Sr. José Falcão e a Sra. Maria de Nazaré por todo apoio incondicional, incentivo, motivação, dedicação e por estarem sempre ao meu lado ajudando da melhor forma possível. A minha namorada Raquel Melo pelo apoio, incentivo e motivação. Agradecer ainda a todos os demais familiares que me apoiaram em todo o processo de formação no Mestrado.

Agradecer grandemente ao meu orientador, o Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso por estar ao meu lado, fazendo valer um voto de confiança depositado em meu trabalho. Agradecer ao Prof. Dr. Marcos Cesar da Rocha Seruffo pela sua contribuição assídua na produção desta dissertação e pelos bons conselhos dados. Meu sincero muito obrigado.

Agradecer aos meus colegas de profissão e amigos do Laboratório de Pesquisa Operacional (LPO), Daniel Souza, Paulo, Rafael, Mariane, Ermínio, Rita, Welton, Carlos, Daniel Victor, Junior, André, Sandio, Ronilson e Marco. Aos amigos do Laboratório de Inteligência Computacional (LINC), Ewerton, Lucas, Igor Araújo e aos demais que puderam compartilhar a experiência da Pós-graduação. Meu muito obrigado.

Agradecer ainda a Raquel Melo e Paulo Henrique pelo auxílio na gramática, sugestões de melhorias, correções e edição deste trabalho, participações estas, indispensáveis para êxito desta produção. Meu sincero muito obrigado.

Por fim e não menos importante, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro ao longo do Mestrado, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), a Universidade Federal do Pará pela oportunidade de fazer a Pós-Graduação e a todos os profissionais envolvidos.

*“A imaginação é mais importante que a ciência,
porque a ciência é limitada, ao passo que a
imaginação abrange o mundo inteiro.”
(Albert Einstein)*

Resumo

O aumento no volume de serviços e aplicações, além do crescimento acelerado das demandas de acesso sem fio, representam desafios significativos para a quinta geração de redes móveis, a rede 5G. Esse aumento no volume de aplicações é reflexo do crescente número de dispositivos que estão se conectando à rede, consumindo dados de maneira expansiva, gerando alta carga de dados. Outro ponto de grande impacto é a migração diária em larga escala de pessoas nos centros urbanos, causando o chamado Efeito de Maré. Este promove a flutuação espaço-temporal do tráfego ao longo do dia, dificultando o controle e gerenciamento da rede (baixa eficiência no uso dos recursos de hardware, o desbalanceamento de carga, a subutilização e ociosidade de recursos). Com base nestas indicações e considerando o conhecimento das operadoras de serviços, dados do movimento de usuários da cidade de Nova York, foram extraídos através de uma LBSN (Location-Based Social Network). Considerando a alta demanda de tráfego esperada para o 5G e os problemas oriundos do Efeito de Maré, nesta dissertação é proposta uma heurística com duas abordagens de provisionamento de recursos de hardware (uma baseada na taxa de transferência agregada e outra no número de usuários conectados). Os resultados apontam que o provisionamento de rede atendeu à variabilidade do tráfego do cenário utilizado, reduzindo a Probabilidade de Bloqueio em 3,7%, maximizando a eficiência da Unidade de Banda Base (BBU) e quantificando as Small Cells (SCs) necessárias para atender à demanda dos usuários.

Palavras-chaves: 5G, Efeito de Maré, Heurística, Provisionamento.

Abstract

The increase in the volume of services and applications, in addition to the accelerated growth in wireless access demands, represent significant challenges for the fifth generation of mobile networks, the 5G network. This increase in the volume of applications is a reflection of the growing number of devices connecting to the network, consuming data expansively, generating high data load. Another point of great impact is the large-scale daily migration of people in urban centers, causing the so-called Tide Effect. This promotes the space-time fluctuation of traffic throughout the day, making it difficult to control and manage the network (low efficiency in the use of hardware resources, load imbalance, underutilization and idleness of resources). Based on these indications and considering the knowledge of the service operators, data from the movement of users in New York City were extracted through an LBSN (Location-Based Social Network). Considering the expected high traffic demand for 5G and the problems arising from the Tidal Effect, this dissertation proposes a heuristic with two approaches to provisioning hardware resources (one based on the aggregate throughput and the other on the number of connected users). The results show that the network provisioning met the traffic variability of the scenario used, reducing the Probability of Blocking by 3.7%, maximizing the efficiency of the Base Band Unit (BBU) and quantifying the Small Cells (SCs) necessary to meet user demand.

Keywords: 5G, Tidal Effect, Heuristic, Provisioning.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Crescimentos do Tráfego de Dados Móveis, 2017-2022.	3
Figura 2 – Evolução da Comunicação Móvel.	7
Figura 3 – Arquitetura D-RAN.	11
Figura 4 – Arquitetura C-RAN.	13
Figura 5 – Arquitetura H-CRAN.	14
Figura 6 – Modelo do KDD.	16
Figura 7 – Método de Pesquisa e Desenvolvimento.	29
Figura 8 – Modelo de Arquitetura.	30
Figura 9 – Distribuição de Usuários Conectados em 24 Períodos.	32
Figura 10 – Fluxograma de Execução dos Algoritmos.	36
Figura 11 – Divisão em Distritos da Cidade de Nova York.	39
Figura 12 – Número de Usuários Conectados (Abordagem de Usuário).	41
Figura 13 – Intervalo de Confiança para Abordagem de Usuário.	41
Figura 14 – Número de Usuários Conectados (Abordagem de Vazão).	42
Figura 15 – Intervalo de Confiança para Abordagem de Vazão.	42
Figura 16 – Média de Usuários Conectados por Small Cells.	43
Figura 17 – Número de Small Cells Ativas.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Quadro Comparativo de Trabalhos Correlatos.	26
Tabela 2 – Parâmetros de Modelagem.	40
Tabela 3 – Análise de Probabilidade de Bloqueio (Usuários Desconectados).	45

Lista de abreviaturas e siglas

AMPS	Advanced Mobile Phone System
BBU	Baseband Unit
BS	Base Station
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CC	Cloud Computing
CO	Central Office
C-RAN	Centralized Radio Access Network
CoMP	Coordinated Multipoint
CPU	Central Processing Unit
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone System
D-RAN	Decentralized Radio Access Network
eICIC	Enhanced Inter-cell Interference Coordination
EON	Elastic Optical Networks
FC	Carrier Frequency
GA	Genetic Algorithm
GSM	Global System for Mobile communication
H-CRAN	Heterogeneous Cloud Radio Access Network
Hetnet	Heterogeneous Network
HSPA	High Speed Packet Access
HPN	High Power Node
ICI	Inter Cell Interference
ILP	Integer Linear Programming
InP	Infrastructure Providers

IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
KDD	Knowledge Discovery in Databases
LBSN	Location Based Social Network
LINC	Laboratório de Inteligência Computacional
LPN	Low Power Nodes
LPO	Laboratório de Pesquisa Operacional
LTE	Long Term Evolution
Mbps	Megabits por Segundo
ML	Machine Learning
MVNOs	Mobile Virtual Network Operators
NTT	Nippon Telephone and Telegraph
PDC	Personal Digital Cellular
PPGEE	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
PO	Pesquisa Operacional
PRB	Physical Resource Block
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RRA	Radio Resource Allocation
RRH	Remote Radio Head
SC	Small Cell
SDN	Software Defined Networking
SINR	Signal-to-Interference-plus-noise Ratio
SUI	Stanford University Interim
TACS	Total Access Communication System

UE	User Equipment
VNI	Cisco Visual Networking Index
VO	Virtual Operator
WDM	Wavelength-division multiplexing

Lista de símbolos

λ	Comprimento de Onda
σ^2	Potência do ruído térmico
γ	Perda de Percurso
P_k	Potência Recebida
k	Usuário
N	Subportadora
I_k	Interferência Intercelular
P	Potência Máxima
d	Distância
h_b	Altura da Estação Base
B	Largura de Banda
UE	Equipamento de Usuário
(S_t)	Remote Radio Head
A	Vazão
A_r	Vazão Agregada
S	efeito de sombreamento

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Visão Geral	1
1.2	Motivação	3
1.3	Objetivos	4
1.4	Organização da Dissertação	5
2	CONCEITOS REFERENCIADOS	7
2.1	Visão Geral	7
2.2	Redes Móveis de Quinta Geração (5G)	7
2.3	RAN	9
2.3.1	D-RAN	10
2.3.2	C-RAN	11
2.3.3	H-CRAN	13
2.4	Efeito de Maré	15
2.5	Ciência de Dados	15
2.6	Location-Based Social Network	16
2.7	Probabilidade de Bloqueio	17
2.8	Pesquisa Operacional	17
2.8.1	Otimização	18
2.8.2	Heurística	18
2.9	Conclusão do Capítulo	18
3	TRABALHOS CORRELATOS	20
3.1	Visão Geral	20
3.2	Alocação de Recursos de Hardware	20
3.3	Dimensionamento de Rede	22
3.4	Provisionamento de Recursos	23
3.5	Comparativo de Correlatos	25
3.6	Conclusão do Capítulo	26
4	MODELO DE SISTEMA	28
4.1	Visão Geral	28
4.2	Método de Pesquisa	28
4.3	Topologia do Sistema	29
4.4	Análise de Dados	31
4.5	Cálculo de Capacidade do Canal	33

4.6	Heurística Desenvolvida	34
4.7	Conclusão do Capítulo	37
5	RESULTADOS	38
5.1	Visão Geral	38
5.2	Estudo de Caso	38
5.2.1	Avaliação do Efeito de Maré	40
5.2.2	Abordagens de Provisionamento	43
5.2.3	Probabilidade de Bloqueio (Usuários Desconectados)	45
5.3	Conclusão do Capítulo	45
6	CONCLUSÕES	46
6.1	Visão Geral	46
6.2	Conclusões	46
6.3	Contribuições da Dissertação	47
6.4	Contribuições Adicionais	48
6.5	Trabalhos Futuros	50
6.6	Dificuldades Encontradas	50
	REFERÊNCIAS	52

1 Introdução

Este capítulo fará um apanhado geral sobre as questões relacionadas ao crescimento do tráfego de dados móveis e os impactos disso na arquitetura de rede atual, enfatizando que a variabilidade no fluxo de dados é consequência do fenômeno denominado Efeito de Maré. Para sustentar a proposta, um vasto levantamento bibliográfico foi realizado, considerando trabalhos científicos de periódicos, revistas, e outros acervos relevantes à academia. Neste capítulo serão realizadas as considerações iniciais deste trabalho, e com efeito, a ampliação da discussão sobre a problemática que o impulsionou.

1.1 Visão Geral

Nos últimos anos, o tráfego de dados aumentou acentuadamente devido à performance de aplicativos com requisitos cada vez mais rigorosos em termos de latência e taxas de dados (GUPTA; JHA, 2015). Neste aspecto, o documento da *Cisco Visual Networking Index* (VNI) indica que o tráfego IP (Internet Protocol) global sofrerá um acréscimo com uma taxa de crescimento anual de 24% de 2016 a 2021 (CISCO, 2017). Destaca-se que a velocidade de conexão de rede móvel aumentará em mais de três vezes até 2022, atingindo 28,5 megabits por segundo (Mbps) este ano, o que corrobora o fato de que as operadoras de telefonia móvel devem adaptar seus serviços para as redes futuras (CISCO, 2018).

Na arquitetura atual, o movimento diário de pessoas em grandes centros urbanos implica em um deslocamento do fluxo contínuo de comunicação em diferentes topologias de rede, originando o fenômeno conhecido como Efeito de Maré (YAN et al., 2018). Segundo o VNI, o tráfego mensal global de dados será de 49 exabytes até 2021, o que captura uma parcela significativa do tráfego de maré (CISCO, 2017). O fenômeno pode resultar no uso ineficiente dos recursos da rede, quando disponíveis estaticamente, sobrecarregando a rede em locais de alta demanda ou aumentando o custo da implantação de equipamentos que serão subutilizados.

Esse novo cenário representa um problema para o gerenciamento da rede, já que o tráfego não é mais regularmente distribuído, pode haver uma lacuna entre a alta e a baixa do tráfego. Em países como China, Índia e Brasil, por exemplo, o processo de urbanização está resultando em megalópoles com mais de 10 milhões de habitantes, enquanto em países desenvolvidos, as aglomerações metropolitanas como São Francisco e a região metropolitana de Paris também mantêm uma alta densidade populacional. Assim, o crescimento mais rápido do tráfego móvel, bem como a urbanização nas aglomerações metropolitanas, aprofundará a influência do tráfego de maré (ZHONG et al., 2016).

No entanto, o Efeito de Maré é uma consequência dos padrões previsíveis de movimento humano e do uso de equipamentos móveis e, dado isso, o reconhecimento de padrões é relevante para que as operadoras se preparem para minimizar o congestionamento em períodos de atividade intensa (TROIA et al., 2017). Aliado ao reconhecimento de padrões, deve haver uma arquitetura que lide com a carga oscilante da rede com mais eficiência do que a D-RAN (Decentralized Radio Access Network), e esse é um dos objetivos da C-RAN (Centralized Radio Access Network).

Dividindo as BSs (Base Station) em RRHs (Remote Radio Head) e BBU (Baseband Unit) utilizando uma comunicação via Link de Fronthaul, o C-RAN também melhora a flexibilidade e permite uma operação de rede móvel mais dinâmica. Nesta arquitetura, os recursos podem ser dinamicamente alocados e distribuídos em uma determinada área geográfica com relação à carga de tráfego, beneficiando assim, o ganho estatístico de multiplexação que se adapta às flutuações de tráfego (KHAN; SABIR; AL-RAWESHIDY, 2017). Na RAN (Radio Access Network) tradicional a capacidade da Banda base é atribuída estaticamente à célula, isso significa que os recursos são alocados independentemente do movimento dos usuários.

Para explorar os novos benefícios da arquitetura, as operadoras de rede estão se preparando para a migração da arquitetura D-RAN para a arquitetura C-RAN. A migração implementará gradualmente o C-RAN. Como o D-RAN continua sendo dominante, os esforços de pesquisa devem ter como objetivo uma transição transparente para o ecossistema 5G (APOSTOLOPOULOS et al., 2018). Neste contexto, o H-CRAN (Heterogeneous Cloud Radio Access Network) torna-se uma alternativa promissora para futuras redes com alta taxa de dados, adicionando um número extra de RRH (remote radio heads) nas proximidades de uma estação base (CHUGHTAI et al., 2018a).

Para cenários com alta carga de fluxo de dados, o que é uma realidade para as redes móveis de quinta geração, é necessário uma política de gerenciamento para maximizar os ganhos da implantação, do C-RAN por exemplo, e esta deve ser capaz de lidar com os cenários do efeito de maré, pois essas são as principais causas de desequilíbrio de carga na rede e desperdício de recursos, afetando a rede nos níveis metropolitano e central (ZHONG et al., 2016).

Tomando como base os aspectos mencionados sobre o efeito de maré e os seus impactos sobre a arquitetura de rede atual, este trabalho apresenta uma heurística para a seleção e determinação quantitativa de antenas para atender aos requisitos de capacidade do cenário estabelecido, provisionando recursos de hardware conforme a demanda. A heurística considera dados reais de mobilidade dos usuários, aplicando o método em duas abordagens: a primeira é baseada na taxa de transferência de SCs (Small Cells), e a segunda no número de usuários conectados as SCs.

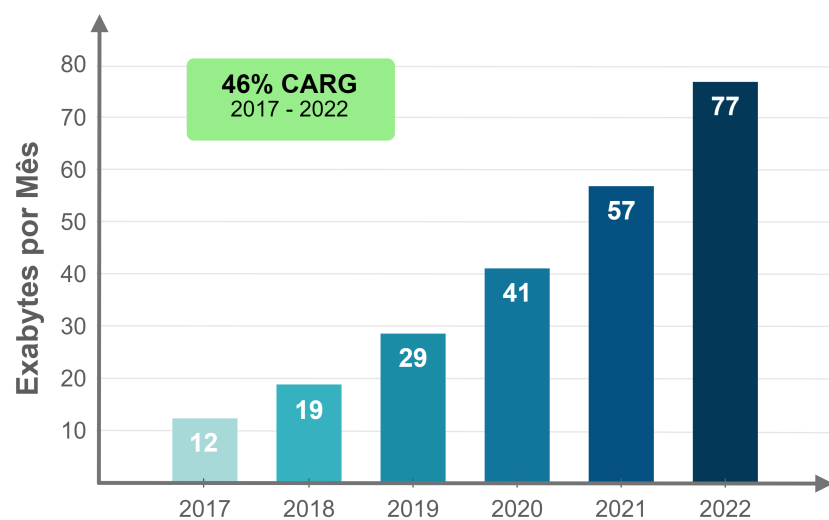
Vale ressaltar que o dimensionamento de recursos de hardware a nível da BBU

representa um grande desafio para benchmarks e avaliações do desempenho, recebendo grande atenção da comunidade científica nos últimos anos (TAUFIQUE et al., 2017). A constante mobilidade de usuários móveis gera naturalmente a variabilidade do tráfego de dados, ligando-se a problemas de desbalanceamento de carga e ociosidade de recursos. Para este contexto, uma heurística para dimensionamento de recursos tal qual está sendo proposta, pode solucionar estes problemas da rede, minimizando os efeitos do fenômeno de maré e provendo o funcionamento adaptativo da arquitetura de rede em relação ao comportamento dinâmico do fluxo de dados.

1.2 Motivação

Um dos grandes desafios em redes móveis é atender a crescente demanda de tráfego de dados e com isso, disponibilizar uma melhor experiência para aplicações e serviços que surgem junto a rede 5G. Comprovadamente, o crescimento do tráfego impacta diretamente em todas as camadas da rede, conforme visto nas mais diversas pesquisas apresentadas pela CISCO. Segundo eles, o tráfego de dados móveis aumentará mais de seis vezes até 2022, com uma taxa de crescimento de 46% entre 2017 e 2022 conforme visto na Figura 1 a seguir (CISCO, 2017).

Figura 1 – Crescimentos do Tráfego de Dados Móveis, 2017-2022.



Fonte: Adaptado de (CISCO, 2017).

Com o crescimento desordenado do tráfego de dados e os avanços do 5G, o ecossistema de comunicação móvel deve necessariamente suportar uma variedade de serviços, dentre eles, uma ampla gama de aplicativos relacionados a redes sociais, multimídia, jogos, IoT (Internet of Things), entre outros. Isso impulsiona as pesquisas sobre a adoção de uma arquitetura móvel mais flexível, para atender não somente as demandas de tráfego

variável, mas minimizar o desperdício, o desbalanceamento de carga e a ociosidade de recursos, sendo essas, as principais adversidades do Efeito da Maré (TROIA et al., 2017).

Através da avaliação de metadados, o efeito de maré pode ser constatado em um cenário real, o de Nova York. A cidade é um exemplo de centro urbano com alta densidade de tráfego, isso significa que o movimento do fluxo da rede é variável, impactando diretamente na eficiência da arquitetura de rede. Apesar de diversos trabalhos colocarem o fenômeno de maré como um desafio para as operadoras de rede, na prática ele é apenas o causador dos desperdícios de recursos e desbalanceamento da carga na rede.

Outro ponto em destaque é a atuação ineficaz das arquiteturas de rede dada à variabilidade do tráfego de dados. O ideal seria que o modelo arquitetural se adapte às imperfeições do comportamento do tráfego, mantendo um grau de equidade no gerenciamento de recursos e mitigando os impactos do desbalanceamento de carga provenientes do efeito de maré. A adaptação de hardware é um mecanismo que otimiza o funcionamento da rede, no sentido de que, a arquitetura pode atender as demandas alta/baixa densidade de tráfego de dados, evitando gargalos e otimizando o uso eficiente de recursos de hardware.

O efeito de maré pode também ser percebido em outras arquiteturas de rede. Na arquitetura C-RAN por exemplo, os impactos do efeito de maré podem ser resolvidos de maneira mais eficiente, pois há uma infraestrutura centralizada onde dimensionamento e o provisionamento de recursos podem ser aplicados diretamente na unidade de processamento. Nas arquiteturas tradicionais como o D-RAN, o gerenciamento deve ser feitos nas unidades distribuídas, o que pode dificultar o tratamento do efeito de maré devido o comportamento variável do tráfego de dados.

De forma geral, estudos sobre dimensionamento e provisionamento de recursos são altamente relevantes para o planejamento de redes (tanto para indústria, quanto para academia), especialmente quando considerados fatores reais de tráfego. Estes esforços deixam em aberto uma série de novos desafios, como o provisionamento dinâmico de recursos de hardware que é pouco explorado para o cenário de arquiteturas híbridas por exemplo. Para esta dissertação, o comportamento do tráfego de dados de Nova York é um dos pontos chaves para implementação de diversas abordagens, especificamente no quesito de planejamento e operação de rede.

1.3 Objetivos

Nesta dissertação, uma heurística para o dimensionamento de recursos de hardware é proposta considerando o comportamento dinâmico do tráfego de dados. Esta abordagem visa não somente o dimensionamento eficiente da rede, mas a mitigação dos impactos provenientes do efeito de maré, que de acordo com a movimentação do fluxo de dados, gera problema de desbalanceamento de carga, ociosidade e desperdícios de recursos. O

objetivo principal é desenvolver um modelo de provisionamento de recursos de hardware, com base no comportamento do tráfego de dados.

Deve-se levar em consideração que a limitação física de recursos em arquiteturas de acesso via rádio é uma das restrições que deve ser tratadas em propostas que visam prover o gerenciamento eficiente de recursos de hardware. De posse dessas informações, esta dissertação tem como finalidade principal, aplicar a heurística desenvolvida no cenário de Nova York, o qual possui uma alta variabilidade do tráfego de dados em decorrência do efeito de maré. Vale ressaltar que essa variabilidade é atribuída a migração diária de pessoas em grandes centros urbano e ao uso de aplicações móveis com diferentes requisitos de QoS (Quality of Service).

A este respeito, os objetivos específicos abordados nesta dissertação são apresentados a seguir, retratando diretamente como o trabalho irá atender a todas as questões mencionadas:

- Extrair informações de uma Base de Dados em relação a posicionamento, deslocamento e localização de usuários móveis;
- Discutir os principais problemas relacionados ao efeito de maré, retratando os quais os desafios encontrados;
- Realizar o cálculo de capacidade do canal através de uma formulação matemática;
- Realizar análise dos resultados e do provisionamento de recursos;
- Divulgação dos resultados através de publicações relevantes à área.

Com o cumprimento dos objetivos desta proposta, será possível discutir os benefícios de um modelo para provisionamento de recursos de hardware para um cenário com características de tráfego variável como o de Nova York.

1.4 Organização da Dissertação

O restante do trabalho está dividido em 5 capítulos, respeitando as diretrizes de desenvolvimento ordenadas abaixo:

- Capítulo 2: Este capítulo apresenta os aspectos gerais relacionados às redes de acesso móveis, discutindo ainda, questões sobre tráfego de dados, arquiteturas de acesso e o avanço das redes móveis. A seção é constituída de tecnologias relacionadas, abordando todo o conteúdo acerca dos impactos gerados pelo efeito de maré e como a rede pode se adequar a esse problema;

- Capítulo 3: Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados a proposta, detalhados em três grandes áreas de igual importância, tais como: Alocação de recursos de Hardware, Dimensionamento com base no efeito de maré e o provisionamento de recursos. Com efeito, tal apresentação permite compreender como este campo de estudo vem sendo retomado por teóricos e pesquisadores, uma vez que em todas as áreas são apresentados trabalhos científicos;
- Capítulo 4: Este desenvolve a proposta do trabalho, apresenta a metodologia, a heurística desenvolvida, cálculo de capacidade do canal utilizado na avaliação e os parâmetros na modelagem;
- Capítulo 5: Este apresenta a avaliação e os resultados obtidos com a modelagem, além de ilustrar os resultados obtidos com a heurística e suas duas abordagens de dimensionamento de recursos de hardware;
- Capítulo 6: Este capítulo apresenta a conclusões do trabalho, resumindo as principais contribuições e os resultados obtidos. Nesta seção é elaborado também um direcionamento aos trabalhos futuros, destacando quais áreas devem ser suscetíveis.

2 Conceitos Referenciados

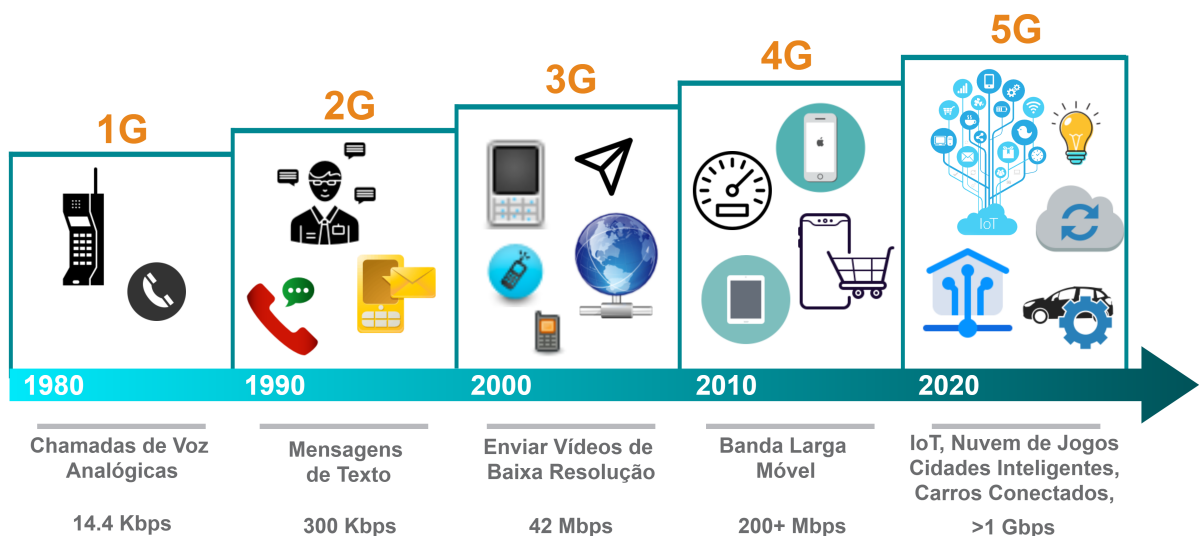
2.1 Visão Geral

Este capítulo tem como intuito apresentar uma visão geral sobre os conceitos abordados neste trabalho, com o objetivo de integrar um aporte teórico consolidado pela literatura científica. São retratados os principais conceitos relacionados às redes móveis de quinta geração (5G) e suas aplicações de serviços, arquiteturas de rede auto organizáveis, crescimento do tráfego, efeito de maré, ciência de dados, rede social baseada em localização voltada para coleta de dados de usuários e por fim, probabilidade de bloqueio. Ao final deste capítulo, uma discussão acerca das contribuições destes fundamentos é levantada.

2.2 Redes Móveis de Quinta Geração (5G)

O desenvolvimento da comunicação móvel tem sido visto como uma sequência de gerações que, nos últimos 40 anos, testemunhou o avanço de quatro importantes gerações. Os avanços iniciaram com a telefonia móvel na década 80 e foram evoluindo seus serviços oferecidos juntamente com a tecnologia de comunicação. A cada geração, alguns padrões, capacidades técnicas e novos recursos que a diferenciam de gerações anteriores foram especificados conforme ilustrado pela Figura 2.

Figura 2 – Evolução da Comunicação Móvel.



Fonte: Adaptado de (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2018)

De acordo com (SHARMA, 2013), os avanços da comunicação móvel podem ser

apresentados da seguinte forma:

- A primeira geração (1G) de comunicação móvel, nasceu por volta de 1980, baseada em transmissão analógica com as principais tecnologias sendo AMPS (Advanced Mobile Phone System), NTT (Nippon Telephone and Telegraph) e TACS (Total Access Communication System). Os sistemas de comunicação baseados no 1G eram limitados a serviço de voz e, pela primeira vez, foi disponibilizado o acesso à telefonia móvel ao público;
- A segunda geração (2G) de comunicação móvel, emergiu no início de 1990, introduzindo a transmissão digital em links de rádio, permitido, de forma limitada, a transmissão de serviços de dados e voz. Outras tecnologias surgiram nesse período, incluindo GSM (Global System for Mobile communication), D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) e a PDC (Personal Digital Cellular);
- A terceira geração (3G) de comunicação móvel surgiu no início do ano 2000. Nesse momento, um verdadeiro passo para Bandwidth (largura de Banda) de alta qualidade foi dado permitindo, especialmente, acesso rápido à Internet sem fio. Na terceira geração a tecnologia HSPA (High Speed Packet Access) foi desenvolvida;
- A quarta geração (4G) de comunicação móvel, representada pela tecnologia LTE (Long Term Evolution), que seguiu os passos do HSPA e promove uma melhor eficiência e experiência em termos de taxas de dados para os usuários móveis mais acessíveis. O padrão LTE possui vários Releases, dentre os quais o Release 8 foi a primeira versão a ser comercializada, com taxas de pico alcançando os 300 Mbps para download e 75 Mbps para uplink (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2018).

A quinta geração de redes móveis teve início por volta de 2012. Neste período, o 5G passou a ser usado com frequência em um contexto muito mais amplo, não apenas referindo-se a uma tecnologia de acesso de rádio específica (trazendo benefícios em relação às gerações anteriores), mas a uma ampla variedade de serviços previstos para serem habilitados pelas futuras comunicações móveis (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2018), onde o número de dispositivos pode chegar a dezenas ou até centenas de bilhões, quando o 5G vigorar de fato (ANDREWS et al., 2014).

As aplicações evoluíram progressivamente nos últimos anos, onde a evolução dos sistemas de telecomunicação é cada vez mais notável. Especificamente, as aplicações disponíveis via plataforma móvel são as que mais exigem capacidade da rede, unindo em sua grande maioria, o acesso à Internet com *Streaming* de áudio e vídeo em alta definição, download de arquivos, serviços de localização, jogos em tempo real e serviço multimídia em geral (AL-FALAHY; ALANI, 2017).

As pesquisas atuais sobre a quinta geração (5G), concentram-se no desenvolvimento de técnicas para atender a questões como aumento do tráfego de dados, conectividade de rede e dispositivos, transferência de dados em alta velocidade e oferecer a melhor QoS na rede. Os padrões de comunicação, como o LTE, desempenham um papel crucial no atendimento sem fio em redes celulares nas últimas décadas (LEW, 2000).

Os avanços na área das comunicações móveis é um tema que trata as necessidades de comunicação para os seres humanos e dispositivos. Em contrapartida das alterações efetivadas nas gerações anteriores, a quinta geração das redes móveis tem como principal função ser uma proposta de rede mais heterogênea, permitindo uma mudança de paradigma nos serviços oferecidos. Neste contexto, as tecnologias sem fio estão crescendo em relação a taxa de dados, mobilidade, cobertura e eficiência espectral.

É importante comparar os avanços do 5G com as gerações passadas (HOSSAIN; HASAN, 2015), cujas características e requisitos podem ser expressados em:

- Melhor área de cobertura e alta taxa de dados;
- Baixo consumo de energia, com uso de equipamentos inteligentes;
- Disponibilidade de vários caminhos de transferência de dados;
- Maior segurança;
- Alcançar 1 Gbps de taxa de transferência de dados;
- Melhorar a Eficiência energética e eficiência espectral.

Os requisitos mencionados acima estão atrelados aos desafios e ao desenvolvimento da 5G. Destaca-se ainda que a centralização é um dos principais objetivos das redes móveis de quinta geração, uma vez que o processamento e o gerenciamento de recursos tornam-se mais flexíveis e adaptados aos requisitos reais de serviços (GUPTA; JHA, 2015). Este processo de adaptação na rede é um dos pontos-chave ao grande volume de dados esperados para esta geração, reduzindo os problemas de desbalanceamento de carga, por exemplo.

2.3 RAN

A rede de acesso via rádio, ou RAN, está em execução desde o início da tecnologia celular e evoluiu conforme os avanços das gerações da comunicação móvel. A RAN, por padrão, tem como funcionalidade o gerenciamento de recursos de rádio na Estação Base e a utilização de antenas que cobrem uma determinada região, dependendo de sua capacidade, a fim de fornecer conectividade sem fio aos clientes móveis (GUDIPATI et al., 2013). Tradicionalmente, este modelo compõe o sistema de comunicação que através de

tecnologias de acesso por rádio intermedia a conexão entre os dispositivos individuais e outros periféricos na rede.

Tecnicamente, as redes de acesso via rádio são composta por eNodeB que são as RRH, por uma BBU e os UEs (User Equipment). Embora o RRH seja destinado especificamente para transmitir e receber sinal sem fio, bem como para amplificar o sinal para transmissão, a BBU é responsável por transformar pacotes IP em sinal de banda base digital, processar o sinal de banda base do RRH, além de gerenciar a mobilidade do usuário a fim de atender os requisitos mínimos de QoS para o funcionamento da rede (TSAI; MOH, 2017).

O modelo de rede de acesso evoluiu com o processo dos sistemas de telecomunicações móveis, sendo exemplificado através do desenvolvimento arquiteturas de rede de acesso via rádio, a começar pela arquitetura D-RAN, C-RAN e por fim, um modelo de arquitetura híbrida, ou heterogênea, o H-CRAN (TERADA et al., 2016).

Apesar dos avanços da tecnologia móvel e das arquiteturas de rede de acesso sem fio, o desenvolvimento exponencial de novos aplicativos multimídia estão causando um enorme ônus nas redes celulares existentes, gerando um crescimento exponencial no tráfego de dados (CHUGHTAI et al., 2018b). Para o cenário 5G especificamente, os efeitos do crescimento do fluxo de dados podem afetar diretamente o funcionamento eficiente da rede, seja ela distribuída ou centralizada.

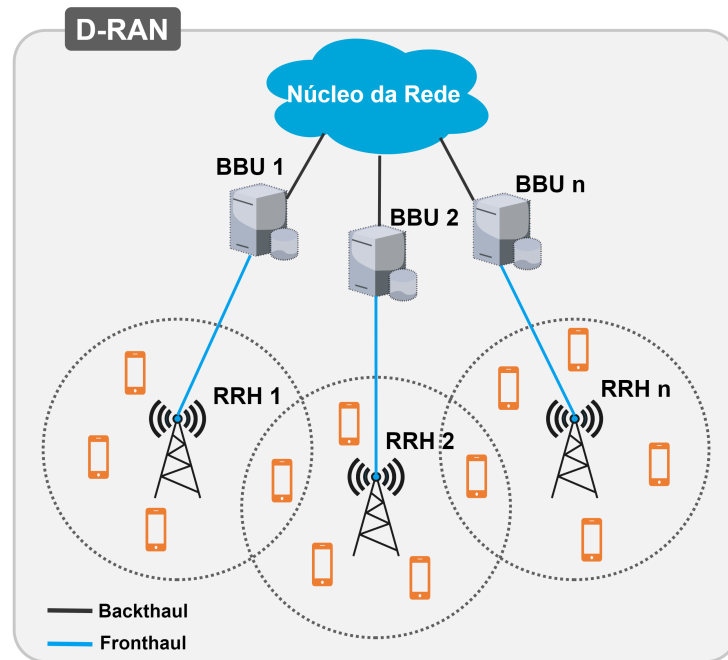
2.3.1 D-RAN

A rede de acesso distribuída, ou D-RAN é arquitetura de rede tradicional no LTE. Nesta arquitetura todas as funções da estação base estão localizadas na antena, enquanto as funções de Bandabase (banda de frequência) estão concentradas na BBU e as funções de rádio (como um amplificador e antena) nas RRHs. Por padrão, a comunicação entre BBU e RRH é feita via link de fronthaul móvel que é baseado em fibra óptica, enquanto a comunicação com o Core Network (núcleo da rede) é feita via Backhaul (TERADA et al., 2016).

No modelo arquitetural da D-RAN, as RRHs contém as funcionalidades de rádio para transmitir e receber sinais sem fio do UE. Uma RRH processa e converte os sinais de banda base recebidos da BBU em RF (Radio Frequency) e os transmite ao UE. Ao receber os sinais RF enviados pelo UE, a RRH processa e os converte em sinais de banda base digital para serem transmitidos à BBU. Este processo de comunicação pode ser descrito pela Figura 3, onde as unidades de processamento estão necessariamente seguindo o posicionamento das antenas.

Observa-se na Figura 3, que as RRHs estão localizadas na parte superior da antena, o que pode reduzir as perdas com energia e cabeamento (cabo coaxial por exemplo),

Figura 3 – Arquitetura D-RAN.



Fonte: Adaptado de (HABIBI et al., 2019)

enquanto a BBU está localizada na base da torre, o qual pode ser alterado conforme a necessidade de atendimento fornecida pela operadora. Essa configuração do D-RAN enfrenta vários desafios no processo de operação distribuída, dentre eles, o de escalabilidade, em que para aumentar a capacidade da rede em locais de alta demanda de tráfego, mais componentes (RRH, BBU, BS, Small cells e etc) precisam ser inseridos.

Na D-RAN os recursos espectrais e de processamento de cada BS são utilizados somente pelos UEs ativos em sua célula, o que pode causar ociosidade de recursos e sobrecarga na BS. Na prática, não há um número fixo de células que possam otimizar a cobertura geral e eficiente da rede móvel, o que significa que o uso de Small cells é bastante eficiente em termos de consumo energético e de utilização de recursos de processamento quando a demanda de capacidade é alta ou, distribuída uniformemente no espaço (LUN et al., 2016).

2.3.2 C-RAN

A C-RAN é uma das principais candidatas para implantações de rede 5G e trouxe diferente abordagens para o contexto, como a utilização de SDN (Software Defined Networking), Computação em Nuvem (CC-Cloud Computing) e virtualização. A arquitetura é caracterizada especificamente pela centralização de recursos em uma unidade de processamento, o que facilita a interoperabilidade de camadas, escalabilidade, balanceamento de carga entre células e a implantação de estratégias cooperativas de transmissão e recepção

de sinal (TURK; ZEYDAN; AKBULUT, 2018).

No ambiente C-RAN, os serviços de rede são fornecidos em uma nuvem centralizada para os respectivos BSs se conectarem e fornecerem serviços aos usuários móveis. Segundo (VENKATARAMAN; TRESTIAN, 2017), C-RAN fornece uma arquitetura centralizada (Centralized), limpa (Clean) e em nuvem (Cloud) para redes de acesso via rádio. O modelo foi introduzido pela *China Mobile Research*, assumindo uma divisão da parte de controle e comunicação entre antenas.

Por padrão as funções de banda base, executadas pela BBU na C-RAN, são deslocadas das RAN, para equipamentos que estão localizados no CO (Central Office), ou “escritório central”, onde é feito o compartilhamento de recursos computacionais em uma BBU pool. Esse mecanismo facilita o gerenciamento e a configuração do sistema, uma vez permitindo que um grande grupo de RRHs seja atendido. A interconexão entre BBU pool e as RRHs são feitas via links de fronthaul, que é uma comunicação digital de alta velocidade a qual permite a amostras digitalizadas (PFEIFFER, 2015).

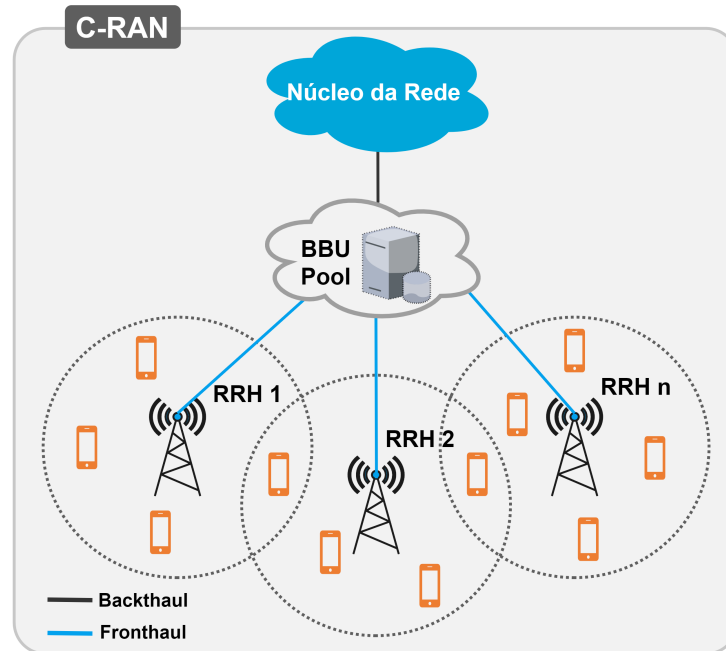
A Figura 3 apresenta o fronthaul e backhaul, especificando a função de cada um. A nomenclatura backhaul, que utiliza fibra, refere-se às conexões de rede entre estações base e o núcleo central, ou core network (BARTELT et al., 2015). Com a centralização, diversos benefícios podem ser elencados, dentre eles: a redução no custo do aluguel de espaços, diminuição do consumo energético, alocação flexível de recursos de rádio, possibilitando a implementação de estratégias de transmissão coordenada e cooperativa (eICIC - Enhanced Inter-cell Interference Coordination e CoMP - Coordinated Multipoint) (SOUZA et al., 2018).

A Figura 4 apresenta uma visão geral da arquitetura C-RAN, em que as funcionalidades de controle e gerência estão centralizadas. A parte fronthaul da rede se estende a partir dos sites RRHs até a BBUs Pool. O backhaul conecta as BBUs Pool com o núcleo móvel da rede, enquanto as RRHs são conectadas a processadores de alto desempenho na BBU Pool com baixa latência, alta largura de banda e ligações ópticas. Além destas especificações, o modelo arquitetural tem como vantagem outras características, conforme visto em (BASTOS; JÚNIOR,).

- Adaptabilidade para tráfego não uniforme e escalabilidade;
- Economia de energia e custos de operação e implantação;
- Aumento da Taxa de Transferência e Diminuição dos Atrasos;
- Facilidade para atualização e manutenção da Rede.

Tradicionalmente o CRAN apresenta uma funcionalidade colaborativa onde os recursos das BSs com baixa utilização em determinados períodos podem ser desligados

Figura 4 – Arquitetura C-RAN.



Fonte: Adaptado de (HABIBI et al., 2019).

ou realocados para processar/executar outras funções na rede. Esse comportamento é facilmente observado pelas operadoras ao analisar a movimentação dos usuários de áreas consideradas dormitórios para centros comerciais/industriais. Nesses pontos, os picos de utilização na rede são gerados em determinados períodos de ocupação dos usuários nessas áreas (centros comerciais, shoppings, estádios de futebol, etc) (SOUZA et al., 2018).

2.3.3 H-CRAN

A arquitetura H-CRAN foi proposta para desacoplar os planos de controle e usuários, a fim de aprimorar as funcionalidades e o desempenho do C-RAN tradicional, na qual as funções do plano de controle são implementadas apenas pelas macros BSs. No H-CRAN, foram obtidas todas as vantagens heterogêneas da arquitetura centralizada, o que leva a melhorar a eficiência espectral, energética e o aumento da taxa de dados. A organização do modelo heterogêneo possui dois modelos, o de macro BS (alta potência) e o de micro BSs ou RRHs.

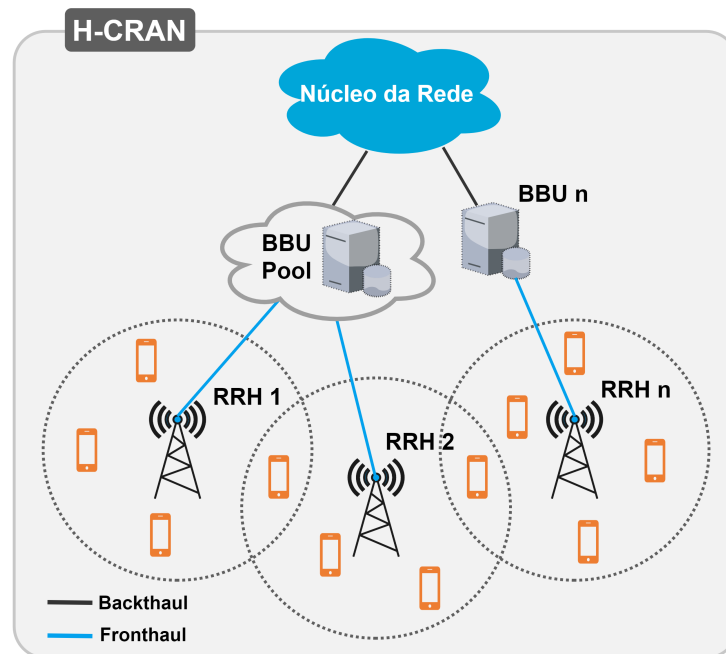
O H-CRAN é uma arquitetura que consiste em um conjunto RRHs ou BSs conectados a unidades centralizadas (BBUs) por meio de links de transmissão de alta velocidade, os denominados fronthaul. Os RRHs geralmente executam funcionalidades básicas de RF (Frequency Radio), enquanto as BBUs processam o sinal de banda base e as funcionalidades da camada superior.

A arquitetura H-CRAN engloba requisitos de outras arquiteturas, como Hetnet

(Heterogeneous Network), utilizando vários tipos de nós de acesso em uma rede e diversas tecnologias de acesso via rádio, e C-RAN com a proposta de centralizar o processamento. Em relação aos nós, são divididos entre os HPNs (High Power Node), compostos geralmente pela macrocell, e os LPNs (Low Power Nodes), compostos por microcells, ou femtocells, cada cell contendo sua BS correspondente (GONÇALVES et al., 2019).

Nesta arquitetura, o controle e cobertura extra é realizado a nível de Macro, enquanto as RRHs lidam com áreas de alta densidade para atender um número significativo de usuários e manter altas taxas de transmissão. De forma similar ao C-RAN, a interferência entre RRHs e as HPN é mitigada através do backhaul, o qual é responsável por intermediar a comunicação em BBU pool e a HPN conforme visto na Figura 4.

Figura 5 – Arquitetura H-CRAN.



Fonte: Adaptado de (HABIBI et al., 2019).

Esta arquitetura (Figura 5) possui características semelhantes ao C-RAN, no entanto, foi proposta para aliviar a sobrecarga de fronthaul encontrada na arquitetura centralizada, fornecendo uma cobertura onipresente na rede. Com o aumento da demanda de tráfego nas redes móveis, são necessárias melhorias adicionais no sistema para atender os requisitos heterogêneos de rede. Nesta arquitetura, as funções de controle centralizado deixaram de ser alcançadas pela BBU pool e foram transferidas para componentes específicos denominados HPN. Além disso, as sinalizações de HPN e BBU ajudam a gerenciar a interferência entre as RRHs e as HPNs.

2.4 Efeito de Maré

O Efeito de Maré é percebido como a flutuação espaço-temporal do tráfego, inevitável em diferentes tipologias de redes, como redes de transporte, Internet e redes sociais. O fenômeno é causado também pela migração populacional diária em grande escala entre diferentes áreas e em diferentes momentos do dia. O tráfego geralmente é mais intenso nas cidades do que nas áreas rurais. Nas cidades, dependendo de como estão ocupadas ao longo do dia, por exemplo, área comercial/área residencial, podem sofrer picos e vales de tráfego alternadamente, como por exemplo Pequim, Nova Iorque, Londres e etc (YAN et al., 2018).

O Efeito de Maré é uma consequência dos padrões previsíveis de deslocamento humano e do uso de equipamentos móveis em constante movimentação (ALVIZU et al., 2016). O fenômeno é comparado à elevação e queda do nível do mar. Os provedores de rede e serviços precisam adaptar suas políticas de rede para lidar com as necessidades do usuário e consequentemente, minimizar os problemas relacionados ao congestionamento do tráfego (TROIA et al., 2017). É importante salientar que este efeito é um comportamento natural diante do crescimento do tráfego.

Com o tráfego de dados variando a medida de espaço e tempo, nos momentos de pico (causando alto fluxo de dados), há interseções na infraestrutura de rede que ficaram literalmente vazias. Se a capacidade da rede foi ampliada apenas com base nestes picos de tráfego, sempre haverá uma porcentagem significativa de equipamentos operando com carga leve (ZHONG et al., 2015). Como vê-se, o efeito de maré é o principal causador de uma série de problemas para infraestrutura de rede atual, que devem ser necessariamente tratados pelo provedor de serviço.

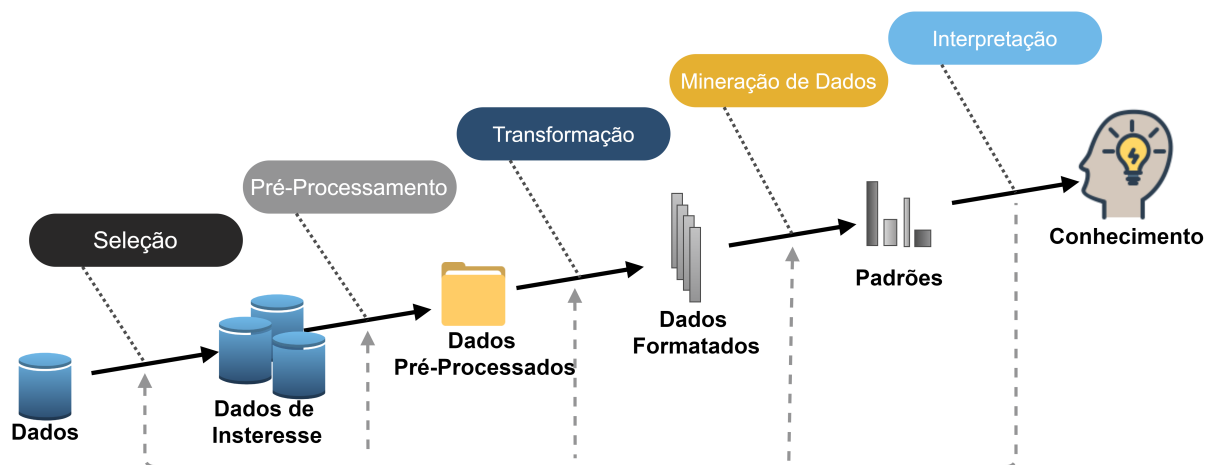
2.5 Ciência de Dados

A ciência de dados é um campo interdisciplinar que visa transformar dados em um valor real. O valor pode ser fornecido em forma e previsões, decisões automatizadas, modelos aprendidos com os dados ou qualquer tipo de visualização. Esta área inclui diversas fases, dentre elas: extração de dados, preparação, exploração, transformação, armazenamento, mineração e afins, levando em consideração questões éticas, sociais, legais e aspectos de negócios (AALST, 2016).

Para compreender todas as etapas concernentes a ciência de dados, ou “Data Science”, o KDD (Knowledge Discovery in Databases) é o mecanismo de extração de informações, clássico e altamente discutido na literatura científica. Esta técnica é o processo não trivial de identificação válida, nova, potencialmente útil e ainda é executado com eficiência, mostrando como os resultados podem ser interpretados e visualizados

(FAYYAD; PIATETSKY-SHAPIO; SMYTH, 1996). Para tanto, a Figura 5 elenca as etapas necessárias para a extração de conhecimento.

Figura 6 – Modelo do KDD.



Fonte: Adaptado de (FAYYAD; PIATETSKY-SHAPIO; SMYTH, 1996).

A primeira fase do KDD é compreendida pela seleção (Figura 6), sendo um dos estágios mais importantes no processo, este é responsável por realizar uma triagem de subconjuntos de dados que apresentem relevância perante o domínio da aplicação abordada. A segunda etapa é de fundamental importância para a realização de uma extração de conhecimentos válidos e potencialmente úteis, sendo denominada de pré-processamento. Esta demanda equivale a aproximadamente 80% do tempo total do processo (KLEMETTINEN, 1999) e é responsável pela limpeza e correção de dados que estejam ausentes, errôneos ou inconsistentes.

Na fase de transformação os dados são convertidos de acordo com a etapa posterior (mineração de dados) objetivando facilitar a identificação de padrões. Muitos autores, como (REZENDE, 2003), (GORUNESCU, 2011), interpretam a segunda e terceira etapas como sendo parte do mesmo estágio, entretanto, em bases de dados muito robustas, faz-se necessário sua separação objetivando uma realização mais eficiente de extração de informações e conhecimentos (FEYYAD, 1996).

2.6 Location-Based Social Network

O surgimento da Rede social baseada em localização (LBSN-Location Based Social Network) tornou-se uma nova plataforma para entender o comportamento e as preferências de usuários por meio de check-in (registro de entrada). Algumas redes sociais baseadas em localização típicas incluem YEP, Foursquare, Facebook, Twitter etc. Devido ao fácil acesso aos dados de trajetória do usuário com base em LBSN, o método atraiu atenção

da academia e da indústria, uma vez que auxilia no entendimento das necessidades dos usuários e possibilita encontrar incompatibilidade entre os sistemas (WANG et al., 2019).

As mídias sociais em geral e a tecnologia móvel se tornaram plataformas importantes para as experiências diárias das pessoas, tanto no compartilhamento de informações quanto no acesso a elas. À medida que as pessoas se deslocam, conectam-se em suas redes sociais, compartilham cada vez mais dados de localização, dados pessoais e afins (TUSSYADIAH, 2012). Este processo é crucial para estudos que envolvem LBSNs, que normalmente disponibilizam dados sobre a movimentação, localização de usuários e futuramente podem ser utilizadas nas mais diversas áreas, a começar pelos trabalhos relacionados a planejamento de rede.

2.7 Probabilidade de Bloqueio

A Probabilidade de Bloqueio é definida como a extensão em que um “evento” provavelmente ocorrerá, medida pela razão entre os casos favoráveis e o número total de casos possíveis. A probabilidade de bloqueio é uma das principais medidas de avaliação de desempenho na área de redes de comunicação. Nesse contexto, a capacidade das redes é severamente restringida, provocando desagregação dos serviços oferecidos devido ao bloqueio, ou até mesmo, interrupção de chamadas (SINGH et al., 2018).

Este método de análise probabilístico também pode ser aplicada com outras finalidades, dentre elas, para melhorar o QoS da rede através de modelos matemáticos, atuando como a razão entre as solicitações negadas e a solicitação geral do sistema. A baixa probabilidade de bloqueio resulta em uma alta quantidade de solicitações recebidas aleatoriamente (VERMA; SINGLA; SAXENA, 2016).

2.8 Pesquisa Operacional

A pesquisa Operacional (PO) é definida como um ramo interdisciplinar que utiliza métodos da matemática aplicada, estatística, e algoritmos para auxiliar em processos de tomada de decisão. É usada geralmente para analisar sistemas e modelos complexos com objetivo de otimizar o ganho de desempenho e a performance. A PO é aplicada a problemas que compreendem a operação (isto é, atividades) em uma organização. A natureza das organizações é secundária, que pode ser amplamente aplicada em diferentes áreas de atuação, como por exemplo: telecomunicações (problemas de otimização), planejamento, operação, assistência médica, serviços públicos entre outras (TAHA, 2013).

2.8.1 Otimização

Otimização é o ato de se obter o melhor resultado sob determinada circunstância. O objetivo final de qualquer problema de otimização é minimizar o esforço necessário ou maximizar o benefício desejado. Em qualquer situação prática, o esforço ou benefício, pode ser expressado em função de certas variáveis de decisão. A otimização pode ser, então, definida como o processo de encontrar o valor máximo ou mínimo de uma função. Os métodos que buscam ótimos resultados são, também, conhecidos como técnicas de Programação Matemática (RAO, 2019).

Nos problemas de otimização há uma função objetivo e um conjunto de restrições, ambas relacionadas as variáveis de decisão do problema. Os valores possíveis e às variáveis são definidos através das restrições, formando um conjunto discreto (finito ou não) de soluções. O problema pode ser de minimização ou de maximização da função objetivo ou ainda multi-objetivo. A resposta para o problema de otimização, ou seja, o ótimo global, será o menor (ou maior) valor possível para a função objetivo para o qual o valor atribuído às variáveis (GOLDBARG; GOLDBARG; LUNA, 2017).

2.8.2 Heurística

O termo Heurística é derivado da palavra grega *heuriskein* que significa descobrir. Uma heurística pode ser definida como um procedimento algorítmico desenvolvido a partir de um modelo, por meio de regras baseadas na experiência dos desenvolvedores. Elas apresentam um conhecimento sobre o comportamento do problema e, dessa forma, exploram um número bem menor de soluções em comparação com os métodos exatos (CORDENONSI, 2008).

Os métodos heurísticos são soluções que buscam resolver problemas, sendo implementadas através de algoritmos ou métodos. Eles encontram a melhor solução possível naquele contexto e em um tempo computacional razoável, no entanto, a solução ótima não é garantida (CORDENONSI, 2008), ou seja, embora um heurística apresente uma solução plausível para determinado problema, ela não garante que esta é a melhor, mesmo atendendo os requisitos do problema em tempo hábil.

2.9 Conclusão do Capítulo

Este capítulo teve como objetivo fundamental apresentar as principais tecnologias e conceitos utilizados no desenvolvimento desse trabalho, expondo de maneira clara os elementos da fundamentação teórica. Além disso, foram referenciadas as tecnologias relacionadas ao cenário das gerações móveis, com ênfase para o 5G, planejamento de rede, arquiteturas, entre outros itens que corroboram com a proposta.

Após discorrer sobre as gerações de tecnologias móveis e seu respectivos papéis neste trabalho, foram discutidos os pontos relevantes sobre as arquiteturas de acesso via rádio (D-RAN, C-RAN e H-CRAN), especificando os seus principais componentes. No segundo momento, foi falado sobre o Efeito de Maré, o qual está presente nas mais diversas arquiteturas de rede. Por fim, os conceitos e aplicações relacionados a LBSN foram discutidos, detalhando de que forma a metodologia pode impactar em estudos de planejamento e operação de redes sem fio.

3 Trabalhos Correlatos

3.1 Visão Geral

Este capítulo tem como finalidade apresentar os trabalhos presentes na literatura científica que, de maneira objetiva, estão correlacionados à abordagem especificada. Os trabalhos a seguir foram publicados em conferências e periódicos cujo conteúdo possui alto grau de relevância. Esta seção possui três áreas de pleno interesse ao contexto, a começar pela explicação dos conceitos: Alocação de Recursos de Hardware, Dimensionamento de Rede e Provisionamento de Recursos. Ao final, uma abordagem centrada nos comparativos dessa base teórica é realizada, valorizando o diferencial desta proposta em relação ao que já se tem na literatura científica.

3.2 Alocação de Recursos de Hardware

Os recursos de hardware em específico, podem ser alocados a qualquer aplicação ou modelo arquitetural que necessite desse mecanismo. Esta configuração, quando realizada de forma dinâmica, pode oferecer vários benefícios, dentre eles, a eficiente utilização de recursos disponíveis, o balanceamento da carga da rede e a minimização da ociosidade de recursos na rede.

Neste campo de atuação, há diversos trabalhos que tratam da alocação eficiente de recursos. Em (CHEN; CHIANG; SHIH, 2017) o C-RAN é tratado como uma solução em potencial para atender a demanda de tráfego esperada pelas futuras redes 5G, devido à capacidade de redefinição do esquema de alocação de recursos, possível apenas com a alteração dinâmica das conexões entre BBU e RRH característica da tecnologia C-RAN. Os autores propõem um mecanismo de mapeamento dinâmico entre BBU-RRH usando uma abordagem de “empréstimo” de recursos, minimizando significativamente o desperdício de recursos e melhorando o gerenciamento da rede.

Segundo (KHAN; SABIR; AL-RAWESHIDY, 2017), no C-RAN os recursos podem ser alocados e redistribuídos dinamicamente na rede em uma determinada área geográfica, beneficiando-se do ganho estatístico de multiplexação, uma vez que se adapta às flutuações de tráfego. Ao dividir o hardware da estação base em RRH e BBU, a arquitetura também melhora a flexibilidade e permite uma operação de rede móvel mais dinâmica. Em contrapartida, nas RANs tradicionais, a capacidade de banda base é atribuída estaticamente à célula, o que significa que os recursos são alocados independentemente dos movimentos dos usuários.

Já em (AL-SAMMAN et al., 2016), uma discussão sobre o crescimento do tráfego de dados é levantada e algumas questões para o tratamento disso são sugeridas, a principal delas é a virtualização de interface sem fio por meio de um algoritmo, o *Traffic Aware Joint Scheduling*, que gerencia o contrato entre o Operador Virtual (VO - Virtual Operator), Provedores de infraestrutura (InP - Infrastructure Providers) e entre VOs aplicando Programação Coletiva para maximizar a eficiência espectral. Os recursos da interface são alocados dinamicamente por hipervisão entre diferentes VOs, considerando o impacto dos esquemas propostos no plano de transmissão /recepção de dados.

Um esquema de alocação dinâmica de recursos de hardware entre vários MVNOs (Mobile Virtual Network Operators) é visto em (MORCOS et al., 2018), onde o compartilhamento de recursos é explorado comumente na C-RAN baseada em nuvem, executada através de um provedor central. O trabalho propõe um “leilão” combinado de dois níveis, a fim de aprimorar a utilização de recursos e maximizar as receitas tanto para o operador central quanto para os MVNOs: no nível inferior, os usuários finais pertencem a uma determinada oferta de MVNO, enquanto no superior, os MVNOs competem por recursos no operador central. Um algoritmo é desenvolvido visando melhorar eficiência computacional diante de configurações de rede distintas.

Com o advento do 5G e seus requisitos rigorosos em termos de latência, espera-se que as redes móveis possuam taxas de dados mais altas. Para gerenciar de forma eficiente os escassos recursos de rádio (espectro de frequência e potência), os autores de (MAURICIO et al., 2019) propõem o algoritmo RRA (Radio Resource Allocation) para melhorar a eficiência espectral e garantir um QoS mínimo na rede. O trabalho em questão foca-se na maximização de eficiência energética para um sistema sem fio através de um esquema de alocação de recursos de frequência e energia.

Nas redes de quinta geração, a distribuição e a mobilidade de pessoas têm uma influência crescente na distribuição do tráfego nas redes ópticas elásticas metropolitanas (EON - Elastic Optical Networks). O termo "efeito de maré" é utilizado neste contexto para representar a distribuição de tráfego com forte desequilíbrio nas dimensões de tempo e espaço. Neste aspecto, os autores de (YAN et al., 2018) estudam algoritmos de mapeamento dinâmico para RRH-BBU na arquitetura C-RAN, com base em alocação de espectro, alocação de recursos em *slots* de frequência em EONs e maximização da largura de banda. Uma simulação foi desenvolvida para verificar o desempenho do esquema de alocação e a probabilidade de bloqueio.

Os trabalhos apresentados nesta seção visam otimizar a utilização de recursos de hardware em redes móveis com o objetivo de melhorar eficiência espectral, throughput, largura de banda, maximização de QoS e eficiência energética. Entretanto, eles ignoram a crescente demanda do tráfego proveniente das aplicações emergentes na rede 5G, que possuem requisitos cada vez mais restritos em termos de latência. A proposta desta

dissertação, diferente do que há até o momento, é trabalhar com um esquema de alocação de recursos que adequa-se às adversidades da rede, levando em consideração a grande atuação do efeito de maré e dos novos perfis de aplicações e serviços.

3.3 Dimensionamento de Rede

O dimensionamento de hardware a nível de núcleo da rede e o mapeamento de dispositivos em RRH são fatores que afetam diretamente o provisionamento de recursos em futuras redes móveis, especialmente em se tratando de redes 5G. Em geral, o dimensionamento é o processo onde se determina a configuração física da rede para que esta, suporte a demanda variada de serviços e aplicações (LIMA et al., 2009). Este mecanismo surgiu como um facilitador para estudos relativos à operação e planejamento de rede, visando atender de forma eficiente seus requisitos conforme visto em trabalhos apresentados a seguir.

Os autores de (AHMED et al., 2018) confiam em indicadores de transferência para dimensionar o número de células ativas e também minimizam a frequência de mudança de estado (ativa e inativa) das células, e um GA (Genetic Algorithm) é usado para diminuir os custos e minimizar o número de células ativas. Minimizar o número de células ativas reduz os custos operacionais de uma H-CRAN, que combina HetNets e C-RAN, para permitir a implantação de redes densas e heterogêneas, desempenhando funções de processamento cooperativo de sinais.

Para prover escoamento o tráfego de dados em redes celulares de quinta geração, arquiteturas centralizadas como o C-RAN, necessitam de uma nova formulação da rede fronthaul de alta capacidade para aumentar os ganhos de multiplexação. Seguindo este panorama, os autores de (PÉREZ; HERNÁNDEZ; LARRABEITI, 2018) propõem o uso de “percentis” (medidas que dividem amostras com uma porcentagem de dados aproximadamente igual) de alto atraso de enfileiramento como uma métrica de dimensionamento de rede. Dimensionamento dos canais de 40 a 100 MHz introduziu altas taxas de transferências, com velocidade de 200 Gbps a 1 Tbps.

Em (SALIBA et al., 2019), as tecnologias que proliferam junto ao 5G, como Hetnets e LTE fazem-se necessárias para garantir o balanceamento de carga sem deteriorar o QoS da rede. No entanto, para obter um modelo eficaz de utilização de hardware, aliviando a escassez de espectro na rede sem fio, os autores propõem uma solução para dimensionar o número de Access Points (Pontos de Acesso) capazes de lidar com o tráfego pesado de usuários no LTE-A. O método é baseado na capacidade disponível de canais, com a finalidade de estimar o número de antenas que darão suporte à rede LTE para transferência eficiente de tráfego.

Utilizando o conceito de multilocalização de recursos em infraestruturas sem fio, os

autores de (MUÑOZ; SALLENT; PÉREZ-ROMERO, 2018) discutem que o planejamento automatizado da capacidade de rádio é necessário para atender os requisitos de performance esperados para as futuras redes móveis, além da utilização de SCs como uma alternativa eficaz para maximizar a capacidade da rede. O trabalho aproveita os dados disponíveis na rede, gerando uma coleção de especificações nos domínios de tempo e espaço. São aplicados algoritmos que consideram ações de adicionar/remover canais ou realocar SCs, a fim de comprovar a eficácia do método de dimensionamento, dependendo da demanda de tráfego e dos usuários.

Já em (JARA; VALLEJOS; RUBINO, 2017) um modelo que considera cargas de tráfego em diferentes conexões de rede (tráfego heterogêneo) é proposto para avaliar a probabilidade de bloqueio em redes WDM (Wavelength-division multiplexing). O trabalho tem como restrição o comprimento de onda, onde a rede é vista como uma sequência de redes e todos os links têm capacidade igual pré-determinada. O modelo é utilizado no dimensionamento de rede, calculando o comprimento de onda ideal para cada link da rede, considerando a carga de tráfego gerada por cada usuário, algoritmos de roteamento e a probabilidade de bloqueio de conexão para todos os usuários.

Os autores de (ROSHDY; GABER; KHAIRY, 2017) propõem uma ferramenta com base em aprendizado de máquina (ML - Machine Learning) para planejamento de recursos de rádio através de métodos de análises de dados disponíveis da rede. O método implementa a classificação de células de acordo com seu QoS requerido, identificando recursos que limitam o throughput da rede e, desta forma, aumentando o desempenho geral do sistema. Consequentemente, o uso ideal de recursos na rede é alcançado, uma vez que o dimensionamento eficiente da capacidade é feito de acordo com a carga da rede.

O dimensionamento de hardware impacta diretamente no provisionamento de recursos em futuras redes móveis, especialmente na fase de planejamento e operação. Os trabalhos apresentados nesta seção discutiram vários pontos relativos à operação e planejamento de rede, propondo em essência, métodos que façam o dimensionamento de rede sob condições ideais. Embora haja um objetivo comum entre os correlatos supracitados, é notória a escassez de estudos acerca do tráfego de dados em cenários ultra densos, onde a variabilidade do fluxo de dados pode ser constatada através de métodos vistos na ciência de dados em análise do comportamento real de usuários.

3.4 Provisionamento de Recursos

O provisionamento busca garantir a alocação eficiente de recursos, sejam ele de hardware ou de rádio, que podem ser exemplificados em: CPU (Central Processing Unit), largura de banda, espectro de radiofrequência, entre outros. O provisionamento é feito de forma eficiente quando não há desperdício de recursos ou quando não há falta de

recursos para garantir um determinado nível de QoS na rede (DOMINICO, 2016). Em telecomunicações, essa prática é usada para alocar/implantar de forma eficiente os recursos existentes na rede e podem ser vistos na literatura científica como um método capaz de oferecer o desempenho esperado.

No contexto de arquiteturas de redes de acesso e das expertises acerca do aumento do tráfego de dados esperado para rede 5G, o C-RAN é tido como uma solução configurável onde a rede que a utiliza possui o mecanismo de adaptação dinâmico em relação às demandas de tráfego. Nesta arquitetura, é possível implementar o provisionamento de recursos com o reconhecimento da demanda, no qual, os recursos são direcionados para atender a carga móvel, maximizando desta forma, a eficiência da capacidade e o atendimento à demanda variável da rede (MORCOS et al., 2018).

O C-RAN é um paradigma para o acesso sem fio que oferece um maior grau de cooperação e comunicação entre BSs, com um perfil limpo e de reconfiguração dinâmica de recursos. Neste contexto, os autores de (POMPILI; HAJISAMI; VISWANATHAN, 2015) declararam que as vantagens adquiridas com a arquitetura superam as limitações de hardware da rede celular. Além disso, são propostas técnicas que minimizam a interferência inter-celular (ICI-Inter Cell Interference) que limitam a largura de banda da rede e métodos de provisionamento e alocação de BSs virtuais a nível da BBU, apresentando os principais benefícios e malefícios deste mecanismo de alocação diante do alto volume de dados.

Espera-se que o tráfego de dados em redes sem fio aumente exponencialmente devido aos impactos de IoT e das Smart Cities (Cidades Inteligentes). A demanda por recursos é realizada simultaneamente de vários locais, a depender da aplicação, a baixa latência pode afetar drasticamente o desempenho da rede. Neste cenário, os autores de (SANTOS et al., 2017) propõem uma formulação de Programação Linear Inteira (ILP - Integer Linear Programming) para o provisionamento de serviços de aplicativos IoT, considerando um problema multiobjetivo (baixa latência e eficiência energética).

Já em (XIONG et al., 2019), os autores elegem a virtualização como principal mecanismo para suportar a carga de aplicações e serviços esperados para o 5G, considerando o modelo de tráfego de dados misto. Esta característica de tráfego é atribuída ao perfil de cada serviço, o qual exige recursos específicos da rede. Neste trabalho é proposto um esquema dinâmico de provisionamento de recursos que envolve tráfego misto em diferentes BSs e os requisitos particulares de usuários (atraso e taxa de dados). Além disso, são propostos algoritmos que se baseiam na configuração personalizada de usuários afim de maximizar a utilização de recursos e o QoS.

Em (WANG et al., 2017), os autores afirmam que a migração diária de usuários causa a distribuição generalizada do tráfego de dados em regiões metropolitanas e como consequência, a carga da rede passa a ter um comportamento desigual, gerando problemas com a alocação de recursos por exemplo. É proposto uma estratégia dinâmica de provisio-

namento de organização do tráfego de dados durante a movimentação de assinantes, a qual se concentra no conhecimento sobre a mudança de posicionamento do tráfego que ocorre pela mudança de tempo. O modelo consegue atingir a menor probabilidade de bloqueio da rede.

No cenário de implantação e alocação de recursos para redes móveis, existem diversas pesquisas que buscam realizar de forma eficiente o provisionamento de recursos (hardware ou rádio) para garantir as demandas heterogêneas da rede. No entanto, boa parte dos trabalhos como fora visto nesta seção, concentram-se somente no método de provisionamento e nos benefícios que isso pode oferecer. Para o contexto de 5G, há uma lacuna quando se considera a variabilidade do tráfego de dados na rede, especialmente com atuação do efeito de maré em diferentes tipologias de rede.

3.5 Comparativo de Correlatos

Para ter uma visão mais ampla de todos os trabalhos correlatos, é necessário confrontar as ideias a fim de consolidar esta dissertação, mostrando sua contribuição e diferencial em relação aos demais trabalhos. Neste sentido, os pontos retratados pela literatura, embora sejam um grande desafio para quem os exploram, fornecem contribuições adicionais de grande relevância à comunidade científica.

Os trabalhos correlatos são embasamentos teóricos que fundamentam todas as hipóteses aqui levantadas, especificamente quando consideradas áreas de interesse análogas. Esta similaridade tem uma contribuição significativa para este trabalho, pois fornece um grande potencial quando retrata os pontos menos difundidos e sobretudo, inserindo a esse contexto, diferentes possibilidades de pesquisa e desenvolvimento.

Em se tratando do comparativo de trabalhos correlatos, a Tabela 1 a seguir, consolida a ideia de que esta proposta busca discutir os principais fundamentos abordados na literatura científica utiliza. Este método traz como diferencial a junção de todos os parâmetros observados, e tem como finalidade comparar as temáticas abordadas nos trabalhos correlatos. Os parâmetros listados foram definidos com base na área de abrangência desta Dissertação, nas Palavras-chave e nos assuntos retratados em cada literatura em específico.

Os trabalhos relacionados expressos na Tabela 1 foram enumerados de 1 a 15 para representar os principais trabalhos correlatos relacionados a esta dissertação, ilustrado por: 1-(KHAN; SABIR; AL-RAWESHIDY, 2017), 2-(AL-SAMMAN et al., 2016), 3-(MORCOS et al., 2018), 4-(MAURICIO et al., 2019), 5-(YAN et al., 2018), 6-(AHMED et al., 2018), 7-(PÉREZ; HERNÁNDEZ; LARRABEITI, 2018), 8-(SALIBA et al., 2019), 9-(JARA; VALLEJOS; RUBINO, 2017), 10-(ROSHDY; GABER; KHAIRY, 2017), 11-(MORCOS et al., 2018), 12-(POMPILI; HAJISAMI; VISWANATHAN, 2015), 13-(SANTOS et al., 2017), 14(XIONG et al., 2019) e 15(WANG et al., 2017). A última coluna da tabela representada

Tabela 1 – Quadro Comparativo de Trabalhos Correlatos.

Parâmetros	Trabalhos Relacionados															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	D
GR ¹			✓			✓	✓			✓	✓	✓				✓
AR ²	✓		✓	✓	✓				✓		✓	✓		✓	✓	✓
EE ³					✓			✓								✓
AD ⁴	✓												✓			✓
TD ⁵		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
EM ⁶						✓									✓	✓
OP ⁷				✓							✓		✓	✓		✓
PL ⁸		✓									✓				✓	✓
PB ⁸					✓				✓						✓	✓
D-RAN									✓							✓
C-RAN	✓	✓	✓				✓				✓	✓				✓
H-CRAN						✓			✓							✓
QoS	✓			✓					✓				✓	✓		✓
5G		✓			✓	✓	✓	✓						✓	✓	✓
TIPO	P	R	R	R	P	R	P	R	P	R	P	P	P	P	R	P

¹GR: Gerenciamento de Recursos. ²AR: Alocação de Recursos. ³EE: Eficiência Energética.

⁴AD: Análise de Dados. ⁵TD: Tráfego de Dados. ⁶EM: Efeito de Maré. ⁷OP: Operação.

⁸PL: Planejamento. ⁸PB: Probabilidade de Bloqueio.

por D, equivale a dissertação, a qual abrange o máximo de parâmetros do comparativo.

Na Tabela 1 são discriminados os parâmetros que identificam as características de cada trabalho, tais como: Gerenciamento de Recursos, C-RAN, D-RAN, H-CRAN, Alocação de Recursos, QoS, Efeito de Maré, Tráfego de Dados, 5G, Planejamento de Rede, Operação de Rede, Dimensionamento, Provisionamento e Análise de Dados.

Essa dissertação, citada na última coluna da Tabela 1, abrange todos os parâmetros listados, provando que o seu diferencial consiste não só em apresentar uma heurística para dimensionamento e provisionamento de recursos de hardware, mas em agregar o máximo de informações a respeito do planejamento e operação de redes. Nota-se que o item “TIPO”, é um parâmetro característico de cada correlato, com o “Proativo” (P), retratando as literaturas centradas em soluções específicas e que possam ser continuadas, enquanto o “Reativo” (R) possui uma abordagem mediática, focando-se apenas na solução de problemas momentâneos sem perspectivas futuras.

3.6 Conclusão do Capítulo

Com base nos trabalhos citados nesta seção, constata-se que o processo de Alocação de Recursos de Hardware, Dimensionamento de Rede e o Provisionamento de Recursos, subseções desse capítulo, exercem um grande impacto no planejamento/operação de redes móveis para o cenário de 5G. Cada subárea apresentada, explica detalhadamente os

principais correlatos do tema, e para esse estudo, configura-se como o estado da arte. No entanto, é necessário haver uma atenção maior sobre todas as informações pertinentes a arquiteturas de acesso via rádio e ao comportamento do tráfego de dados ocasionados pelo Efeito de Maré.

Ainda que haja na literatura científica trabalhos relacionados ao referido tema, nota-se a ausência de estudos que relacionem os pontos cruciais discutidos nesta dissertação. Para tanto, um estudo comparativo de todos os correlatos apresentados foi elaborado com intuito de comprovar a relevância do estudo em questão. O objetivo deste, foi não só apontar a contribuição desta dissertação, como também, elevar o diferencial da proposta em relação ao contexto científico atual.

4 Modelo de Sistema

4.1 Visão Geral

Este capítulo especifica o processo metodológico utilizado para a elaboração desta dissertação, tomando como base, a priori, o Modelo de Sistema e a apresentação do método de pesquisa empregado. A topologia do sistema é apresentada em seguida, ilustrando as especificidades e os elementos arquiteturais. Na sequência discute-se sobre o modelo de avaliação, onde as questões relacionadas a análise de metadados, efeito de maré, cálculo de capacidade do canal por fim, a heurística desenvolvida. Este capítulo foi previamente redigido com o intuito de mostrar os fundamentos chave deste trabalho, fornecendo subsídios para a consolidação dos resultados e consequentemente, das considerações finais desta escrita.

4.2 Método de Pesquisa

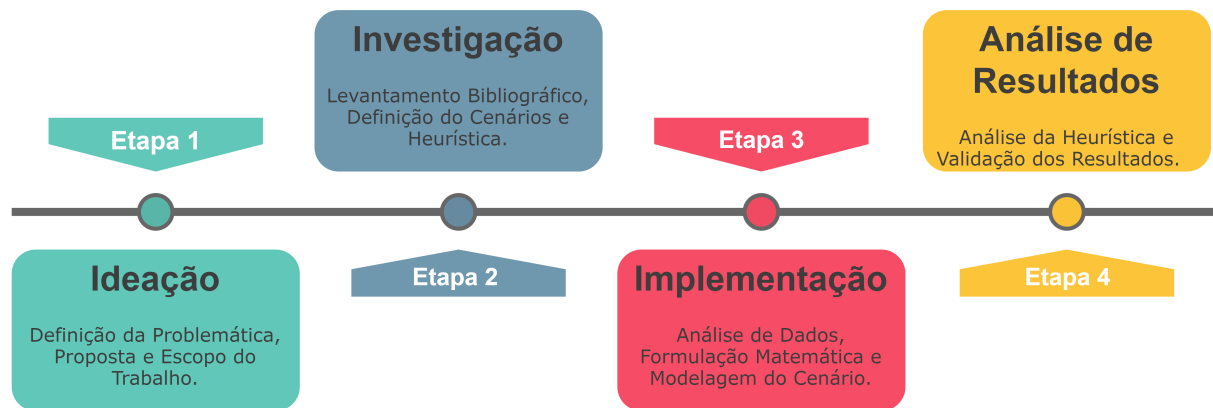
Inicialmente, o escopo do trabalho foi definido com base em um vasto levantamento bibliográfico sobre planejamento/operação de redes de acesso sem fio, com ênfase para todos os requisitos relativos ao aumento do tráfego de dados e da quinta geração de tecnologias móveis, a rede 5G. Sobre o método de pesquisa, a Figura 7 foi desenvolvida a fim de elucidar etapas percorridas, enfatizando que a relevância deste trabalho é sustentada pela grande variedade de trabalhos correlatos existentes.

O método desenvolvido tem como objetivo efetuar o provisionamento de recursos de hardware em redes móveis considerando uma série de fatores que influenciam na distribuição da carga da rede, a começar pelo deslocamento do tráfego de dados. Para exemplificar todo o método, foram definidas 4 etapas (Figura 7), todas representando o processo de desenvolvimento deste trabalho. A primeira consiste na fase de “IDEAÇÃO”, onde foi delineado o escopo do trabalho e a definição da proposta a ser implementada.

O passo seguinte foi definido pela Etapa 2 (INVESTIGAÇÃO), onde realizou-se o levantamento bibliográfico. Nesta fase foi definido qual cenário poderia ser utilizado como exemplo do Efeito de Maré, em que a constante movimentação de usuários, impactasse no comportamento do fluxo de dados. Além disso, nesta fase foram definidos os fundamentos da heurística proposta. Em geral, os trabalhos correlatos colocam a variabilidade do tráfego de dados com uma problemática plausível, mas pecam em avaliar o real impacto disso na arquitetura de rede atual.

Através de uma análise em uma base de dados de Nova York constituída de

Figura 7 – Método de Pesquisa e Desenvolvimento.



Fonte: Autoria Própria.

informações sobre o posicionamento e movimentação de usuários, o cenário, no qual será aplicada a heurística para provisionamento de recursos. Na sequência, chega-se à etapa 3 (IMPLEMENTAÇÃO), onde o tratamento da base de dados (minerando as informações necessárias), implementação do cálculo de capacidade do canal, modelagem e a especificação dos parâmetros de rede (coletados durante a fase de levantamento bibliográfico) foram executadas.

Por fim, a etapa 4 (ANÁLISE DE RESULTADOS), a qual se refere ao estágio final do Método de Pesquisa e desenvolvimento utilizado nesta dissertação. A Análise de Resultados é uma etapa de grande relevância para este trabalho, pois além de retratar todo o processo de análise dos resultados, nela é possível comprovar que a heurística desenvolvida obteve suas contribuições esperadas, e ainda, comprovar que o Efeito de Maré é um fenômeno que necessita de grande atenção em estudos no ramos de planejamento, operação e implantação em redes móveis.

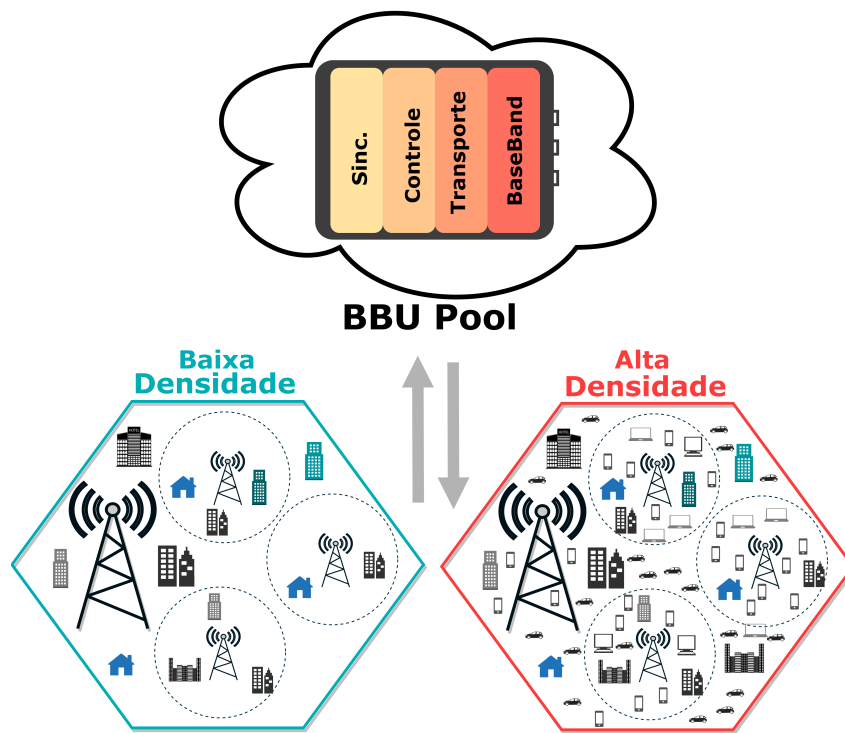
O método de pesquisa e avaliação aqui apresentados, discutem todas as fases concernentes ao desenvolvimento desta dissertação. É evidente que, para se propor uma heurística que dimensione a rede considerando amplos aspectos e ainda provisiona recursos de hardware conforme a demanda recebida na rede, o primeiro passo é fazer um levantamento sobre todos os elementos relacionados à proposta. O segundo é buscar trabalhos consolidados na literatura para compor seu embasamento teórico e com isso, fundamentar a proposta e mitigar as lacunas existentes.

4.3 Topologia do Sistema

A Topologia do Sistema foi definida com base no movimento de carga da rede móvel que gera flutuações no fluxo de dados na BS ao longo do dia, como visto na Figura 8. O Efeito de Maré pode ser percebido neste cenário ou em outras tipologias de rede,

incluindo o C-RAN por exemplo. Na arquitetura centralizada, como a BBU pool concentra a capacidade de processamento, ela deve estar em uma localização favorável a maximizar a quantidade de RRHs que podem ser atendidas pelo mesmo pool, otimizando assim, os recursos de hardware e diminuindo as unidades de processamento ociosas.

Figura 8 – Modelo de Arquitetura.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 8 ilustra o processo de comunicação proposto nesta dissertação. O objetivo é desenvolver um modelo de provisionamento de recursos para todos os centros urbanos da cidade de Nova York, adaptando-se à demanda e, com base no fluxo de dados necessário, alocar dinamicamente recursos para regiões com alta/baixa densidade de tráfego. Cada setor da cidade possui características que impactam no número de usuários ao longo do dia, como áreas de maior volume de usuários (centros comerciais, praça de alimentação, shopping centers entre outros).

A cidade de Nova York possui particularidades típicas, pois apresenta uma divisão por distritos com especificações distintas de densidade demográfica. No total são 5 distritos: Bronx, Queens, Staten Island, Brooklyn e Manhattan com densidade demográfica que está entre os principais centros comerciais, financeiros e culturais do mundo. Manhattan pode ser considerada uma área densa em termos de tráfego de dados, pois foi constatado, com análise de dados, que a maior concentração de usuários em todos os períodos do dia está nesta região, conseqüentemente, um maior fluxo de dados é gerado.

Já outras regiões como Queens por exemplo, são definidas como regiões menos

densificadas, por apresentarem um menor percentual de usuários segundo análise de geolocalização de assinantes que será descrita a seguir. De posse dessas informações sobre Nova York, foi definido que o cenário possuirá duas macro regiões, ou duas células (área com tamanho delimitado para recepção/transmissão de equipamento radiotransmissor), uma com alta densidade de usuários posicionados nesta região e outra com baixa densidade. Estes fatores impactam diretamente na flutuação do tráfego de rede em diferentes momentos do dia.

A flutuação espaço-temporal do fluxo de dados na rede demanda um conjunto de recursos bem distribuídos que atenda a toda a demanda requerida. Na prática, essa demanda requer operação de RRHs como BS para cobrir grandes áreas em extensão territorial, bem como um conjunto de Small Cells para abranger áreas reduzidas, o que pode maximizar o processo de alocação dinâmica de recurso e reduzir o descarregamento (offload) na BS.

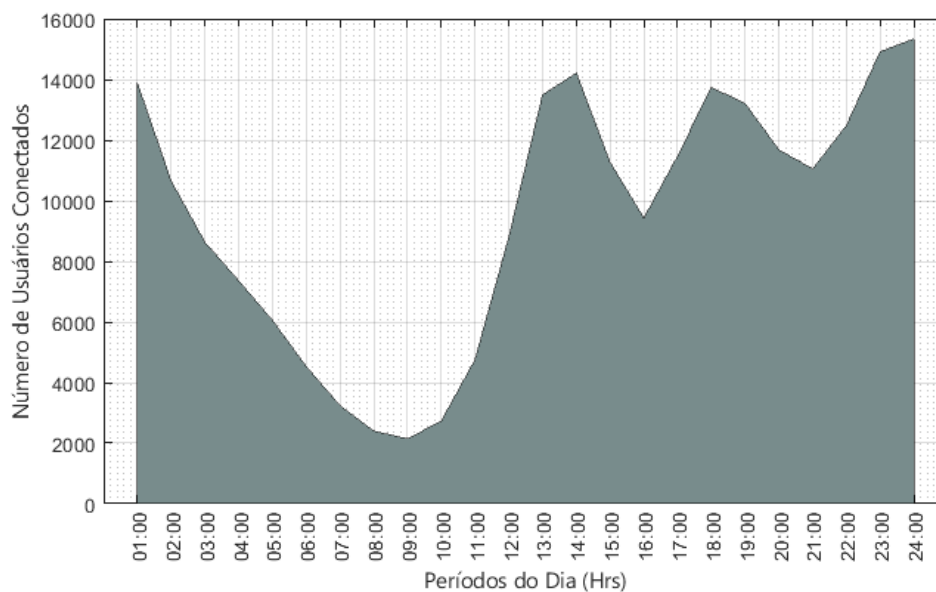
4.4 Análise de Dados

O comportamento demográfico ao longo do tempo é um fator crucial para efetuar o dimensionamento da rede e o provisionamento de recursos. Em vista disso, uma fonte de dados fundamentada em ferramentas de redes sociais baseadas em localização, ou LBSN (WANG et al., 2019), foi utilizada para armazenar informações de geolocalização com base em check-ins de usuários em diferentes localidades de New York. A coleta, que utilizou a divisão em distritos da cidade, foi realizada no período de Abril de 2012 a Fevereiro de 2013, obtendo uma amostra de 227.428 Check-ins de usuários com sua posição precisa de Longitude e Latitude.

O estudo inclui dados sobre o posicionamento dos UEs (equipamento do usuário) em 24 períodos, o que corresponde a uma hora de duração, traduzindo desta forma, a análise para horas do dia. A partir desta distribuição, obteve-se uma amostra mais significativa em comparação a todos os dias analisados, resultando em informações de densidade demográfica precisas e de variação na quantidade de usuários ativos conforme visto na Figura 9. Vale ressaltar que todo este contexto de mobilidade de usuários corrobora diretamente o Efeito de Maré, uma vez que a migração diária de pessoas é um dos principais fatores de influência no comportamento do fluxo de dados decorrente no fenômeno.

A Figura 9 representa o número médio de usuários conectados em Nova York em 24 horas (eixo X), equivalente a cada hora do dia. O objetivo desta análise é avaliar a variação de usuários conectados na rede e com isso, modelar o provisionamento de recursos conforme a demanda gerada. A demanda por recursos em regiões de tráfego denso e horários de pico é alta, pois há um grande fluxo de dados gerados por aplicações e serviços em pleno funcionamento, necessitando de mais cobertura de rede e, conseqüentemente, mais antenas

Figura 9 – Distribuição de Usuários Conectados em 24 Períodos.



Fonte: Autoria Própria.

ativas. Por outro lado, nas regiões menos densas ou em períodos de baixa conectividade de usuários há desperdício de recurso devido à ociosidade.

Para a obtenção de informações mais precisas quanto ao comportamento de usuários de Nova York (posicionamento, horário, local e aplicação utilizada), foi necessária a utilização da técnica de agrupamento em mineração dados, para identificar conjuntos de usuários que estivessem no mesmo agrupamento. Essa prática de organização de dados foi necessária pois os dados coletados estavam dispersos em primeira instância, dificultando a análise e consequentemente a especificação do efeito de maré

Para a execução desse processo foram utilizadas ferramentas como: QGIS para tratamento e organização de dados de geolocalização, o MySQL para realizar manipulação de dados através de consultas (select) e o Excel para organização e aplicação da técnica de agrupamento na etapa de mineração de dados. Além disso, foi utilizado o Matlab para a modelagem de cenário, codificação da heurística e plotagem dos resultados.

As etapas cruciais da análise de dados implementadas foram pré-processamento e mineração, vistos também no KDD. Isso não significa que o modelo não foi utilizado por completo, mas alguns pontos foram abstraídos, dentre eles a etapa de “seleção” haja vista que a fonte de dados utilizada já apresentava uma breve organização de todas as variáveis relacionadas, dentre eles a localização de usuários, o horário, o serviço utilizado e o identificador daquele assinante.

No pré-processamento foi extraídos os dados mais relevantes, eliminando ao máximo as inconsistências de informações. Além disso, a cidade foi subdividida em distritos para

facilitar a visualização do quantitativo de usuários ativos por região. Na mineração, foi definido que o espaço amostral teria 24 períodos (correspondendo às horas do dia), e para cada período avaliado, verificou-se quantos UEs móveis estavam conectados por distrito.

4.5 Cálculo de Capacidade do Canal

No Cálculo de Capacidade do Canal, considera-se a perda de percurso, que é a diferença na intensidade do sinal transmitido e na intensidade do sinal recebido em distâncias opostas entre a antena transmissora e a antena receptora. Essa é uma das principais deficiências de propagação, que, devido ao aumento da distância entre os nós de transmissão, a potência do sinal pode ser reduzida (atenuada) dependendo do tipo de ambiente em que a rede está implantada, como cidades com grandes edifícios, sombreamento, interferência de células entre outros fatores naturais (CHEFFENA; MOHAMED, 2017).

No planejamento de redes móveis, a perda de percurso deve ser estimada para implantação, enquanto a cobertura celular pode ser determinada com base em macro BS, micro BS, potência irradiada isotrópica efetiva, modulação por radiofrequência e técnicas de codificação (POPOOLA et al., 2018). Na prática, a perda de percurso (path loss) pode ser estimada a partir do modelo Hata e sua extensão COST231 para FC (Carrier Frequency) abaixo de 2 GHz e do modelo SUI (Stanford University Interim) para FC acima de 2 GHz (CASTRO et al., 2010).

A relação Relação Sinal/Interferência e Ruído (SINR - Signal-to-Interference-plus-noise Ratio) do *downlink* em uma determinado subportadora N , é atribuída ao usuário k na SC à qual está conectado, através da Equação 4.1:

$$SINR_k = \frac{P_{k,b(k)}}{\sigma^2 + I_k} \quad (4.1)$$

Onde $P_{k,b(k)}$ é a potência recebida na subportadora N do usuário k pela BS $b(k)$ que a serve, σ^2 é a potência do ruído térmico e I_k é a interferência intercelular dos SCs vizinhos. Considera-se que todos os SCs estão transmitindo com potência máxima P . A potência recebida no usuário k do $b(k)$ pode ser calculada por meio da Equação 4.2, cujo resultado relaciona a potência transmitida e o desvanecimento do sinal.

$$P_{k,b(k)} = \frac{10^{\frac{Pot_{b(k)} - L_{SUI}}{10}}}{1000} \quad (4.2)$$

Na Equação 4.2, o valor de $P_{k,b(k)}$ é uma função dos três valores calculados pelas seguintes equações:

$$L_{SUI} = A + 10\gamma \log \frac{d}{d_o} + S, d > d_o, \quad (4.3)$$

$$A = 20 \log \frac{4\pi d_o}{\lambda}, \quad (4.4)$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{C}{h_b} \quad (4.5)$$

Onde d é a distância da antena ao ponto medido em metros, d_o é igual a 1 metro de acordo com (CHECKO et al., 2014); λ é o comprimento de onda em metros; γ é o expoente da perda de percurso; h_b é a altura da estação base, que pode estar entre 10 e 80 metros; A , B e C são as constantes que dependem do tipo de terreno do cenário; nesse caso, C foi usado ($A = 3,6$, $B = 0,005$ e $C = 20$); S é o efeito de sombreamento, que pode estar entre 8,2 e 10,6 dB. Considerou-se que cada usuário atinge a capacidade de Shannon, ou seja, a taxa de dados para o usuário k é expressa em (CHECKO et al., 2014) como:

$$C_k = B * \log_2(1 + SINR_k) \quad (4.6)$$

Onde B é a largura de banda do sistema (Equação 4.6).

4.6 Heurística Desenvolvida

Nas redes de acesso via rádio, a implantação densa de RRHs é uma solução potencial para a rede se adaptar à demanda de tráfego. Ao centralizar as unidades de processamento no BBU pool, o consumo de energia e a complexidade do RRH são minimizados, reduzindo significativamente os custos de infraestrutura e fornecendo capacidade de rede. Na heurística desenvolvida, o provisionamento de recursos de hardware é feito por meio de modelagem matemática desenvolvida no Software Matlab®.

A heurística considera dados reais de mobilidade do usuário (coletados de um banco de dados), baseando o método em duas abordagens de provisionamento de recursos: a primeira leva em consideração a taxa de transferência de SCs (throughput), e a segunda o número de usuários conectados nos SCs.

A heurística proposta pode ser dividida em 3 algoritmos. O primeiro cria os usuários (UE) e lista os RRHs disponíveis (S_t). O segundo visa a quantificação das portas necessárias para cobrir determinada capacidade de taxa de transferência agregada. Com base nessas informações, o algoritmo 3 expressa a implantação de RRHs, a taxa de transferência agregada e o número de UEs cobertos pela macro.

Algorithm 1 Alocação de UE-RRH**Data:** Inicia os UE e Lista as RRHs (S_t)**Result:** Vazão Agregada A para cada $A_r | r \in S_t$ **forall** $r \in S_t$ **do**| Aloca UEs nos r mais próximo**end****forall** $u \in UE$ **do**| Atualiza SINR de UE e calcula Data Rate (Shannon) de UE de acordo com (CASTRO et al., 2010)**end****forall** $r \in S_t$ **do**| Calcula a Vazão Agregada A_r **end****return** *Exibe Vazão Agregada de A*

O método de alocação dos UEs-RRHs mais próximos e disponíveis no cenário é implementado no Algoritmo 1, onde a capacidade máxima de cada UE (interferência entre RRHs e UEs) e a capacidade do canal são calculadas, levando em consideração os recursos disponíveis em cada RRH, os PRBs (Physical Resource Block) cuja divisão é feita buscando a igualdade. No final desta etapa, uma lista de RRHs disponíveis e seu rendimento agregado é gerada. Os dados de saída do primeiro algoritmo servirão como um parâmetro de entrada para o Algoritmo 2 descrito abaixo.

Algorithm 2 Define o Número Máximo de Portas**Data:** Calcula a Vazão Agregada Máxima (A), lista as RRHs (S_t) disponíveis**Result:** Saída**repeat**| Alocação de UE-RRH; Ordena S_t by A em ordem decrescente Ordena S_t pelo número de UEs em ordem descendente;| **while** $RRH \text{ VazãoAgregadaTEMP} < \text{DefinidaVazãoAgregada}(\%)$ **do**| | $NUM\text{-}RRH = NUM\text{-}RRH + 1$ $RRH \text{ VazãoAgregadaTEMP} = RRH$
| | $VazãoAgregadaTEMP + RRH \text{ VazãoAgregadaTEMP}(St)$ | **end****until** $NUM\text{-}PORTS$ é igual a $NUM\text{-}RRH$;**return** $NUM\text{-}PORTS$

No algoritmo 2, uma porcentagem máxima da taxa de transferência agregada é fornecida como entrada (A), além da lista (St) novamente para verificar os RRHs disponíveis. São consideradas diferentes posições dos UEs e é contado o número de RRHs necessários para cobrir uma determinada capacidade do cenário. Os testes são repetidos até que um número médio de portas seja obtido (equivalente ao número médio de RRHs necessários para o tráfego de dados).

Dois critérios são usados para determinar quais RRHs devem ser conectados: (i) a abordagem na qual as RRHs com maior produtividade agregada são priorizadas; (ii) a

abordagem em que as RRHs com o maior número de usuários são priorizados. Ambas as abordagens devem respeitar os limites dos PRBs em cada RRH disponível no cenário.

Algorithm 3 Seleção de RRHs

Data: S_t , NUM-PORTS

Result: output

repeat

 Gera a distribuição dos UEs Detecção de UE-RRH (S_t);

forall *all* RRH E S_t **do**

| Calcula Vazão Agregada

end

 ordena S_t pela Vazão Agregada (Max) Sort S_t pelo número de UE's (Max)

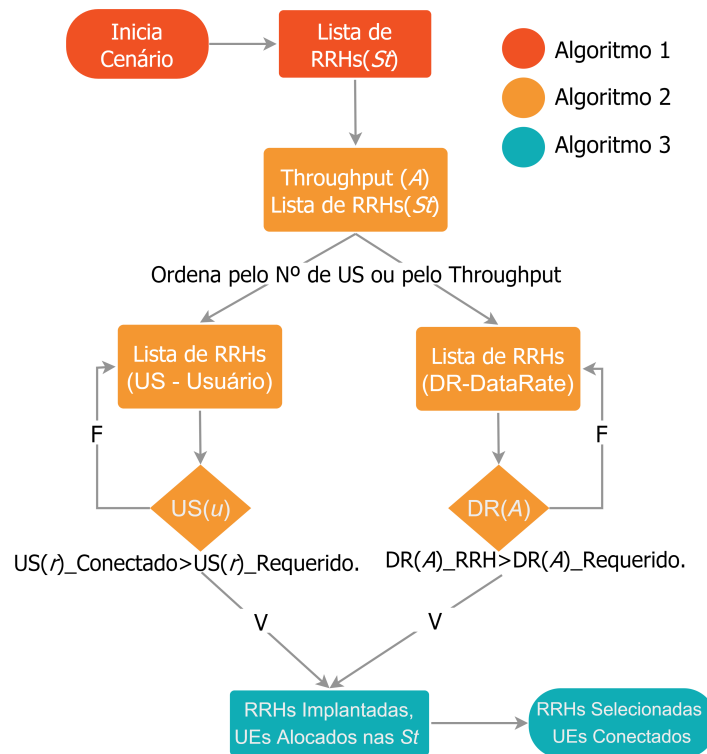
 Seleciona RRH (S_t , NUM-PORTS) Detecção de UE-RRH-Macro (S_t , S_m);

until RRHs Seleccionadas ;

return NUM-PORTS

No algoritmo 3, o número de portas e o cenário a ser estudado são dados como entradas. Aqui, todos as RRHs são implantados e os UEs são alocados a esses RRHs. Com base no número de portas fornecidas como entrada, os RRHs com o maior número de usuários ou com maior taxa de transferência agregada são selecionados, as RRHs são implantadas e uma nova alocação de UEs e RRHs é feita. UEs não cobertos por RRHs devem ser cobertos pela macro BS. Após a execução de todos os algoritmos que compõem a heurística, o ciclo termina de acordo com o fluxograma da Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de Execução dos Algoritmos.



O fluxograma de execução contido na Figura 10 exemplifica como as etapas da heurística desenvolvida se integram. O processo foi dividido em 3 fases, com etapas específicas começando no Algoritmo 1, onde o cenário é criado com todas as suas especificações e componentes instanciados. A etapa 2 corresponde ao algoritmo 2, que lida com o processamento e a execução de políticas de gerenciamento no cenário, entre elas a conexão de RRHs com usuários mais ativos ou com maior fluxo agregado. Atendendo à condição exigida e respeitando os limites dos PRBs, o processo entra na fase final (Algoritmo 3).

Em geral a heurística apresentada descreve de que forma o modelo atenderá as imperfeições do tráfego de dados. Com o efeito de maré observado na cidade de Nova York, a variabilidade do tráfego é um comportamento esperando, diante do alto grau de movimentação de assinantes móveis desta região. O modelo efetuará o dimensionamento de recursos de hardware, provisionando mais recursos em momento de pico e reduzindo em momento de vale. Através da heurística será definido o número RRH e a quantidade de recursos necessários para atender forma eficiente as demandas da rede, minimizando o desperdício e os impactos do efeito de maré.

4.7 Conclusão do Capítulo

Este capítulo buscou representar todos os métodos utilizados para consolidação dos resultados, percorrendo sobre as etapas principais do processo de desenvolvimento dessa dissertação. Os pontos retratados são uma das principais contribuições desse trabalho, uma vez que esse Modelo de Sistema possui etapas que na literatura científica são pouco discutida, como a análise de dados considerando o efeito de Efeito de Maré. Toda esta pesquisa, bem como a heurística desenvolvida, é de grande interesse para comunidade acadêmica, especialmente com os avanços da rede 5G e os requisitos esperados para futuras gerações de tecnologias móveis.

5 Resultados

5.1 Visão Geral

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nesta dissertação, com base nos fundamentos levantados e no referencial teórico até o momento. Além disso, serão mostrados os parâmetros de modelagem e um Estudo de Caso contendo as especificações do cenário, com ênfase para o Efeito de Maré. Para fins de validação da proposta, os resultados são fragmentados em dois grupos: Abordagens de usuários conectados e de vazão média. Esses dois grupos, apesar de serem apresentados de forma isolada, fazem parte do mesmo conjunto de análise. Para isso, fez-se necessária a avaliação do Efeito de Maré, abordagens de provisionamento e probabilidade de bloqueio para os dois grupos.

5.2 Estudo de Caso

A relevância deste estudo de caso está justificada pelo seu ineditismo na área de planejamento e operação de redes móveis, não só pela heurística proposta, mas pela abordagem do Efeito de Maré que tem sido discutido na literatura científica. Todos os fundamentos apresentados neste estudo de caso serão avaliados através de 3 métodos de análise, que foram comumente aplicados nas duas abordagens de dimensionamento/provisionamento das heurísticas (avaliação do Efeito de Maré, Abordagens de Provisionamento e probabilidade de Bloqueio).

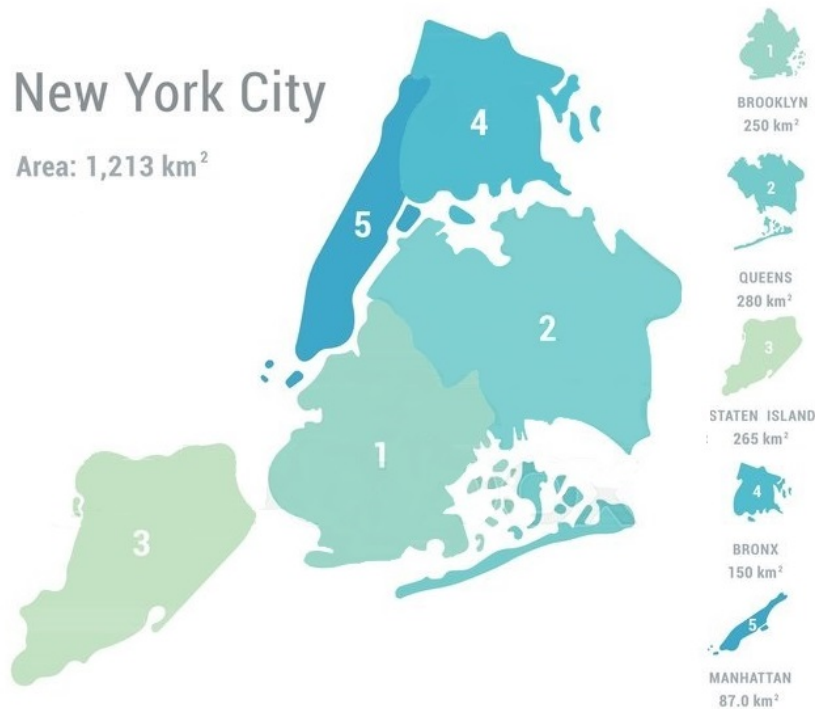
O estudo de caso no qual foi baseada esta dissertação consiste em analisar o comportamento do tráfego de dados na cidade de Nova York, levantando os principais problemas ocasionados pela movimentação em larga escala de pessoas neste centro urbano, bem como os problemas relacionados ao desequilíbrio da carga da rede. Durante a análise, foi constatado que a cidade possui um perfil altamente densificando, o que significa dizer que há uma grande concentração de assinantes dispersos nos centros urbanos da cidade.

A priori, o cenário foi estabelecido com base na subdivisão em distritos da cidade de Nova York, conforme foi apresentado no Capítulo 4. Cada distrito possui suas especificidades em termos de densidade demográfica e organização, isto é, há centros urbanos comerciais, onde predomina a existência de edificações voltadas para o comércio, prestação de serviços, indústria, empresas e há os centros residenciais, onde prevalece a existência de um maior número de residências, condomínios e afins.

As características particulares de cada distrito impactam diretamente no fluxo de dados desta região, pois uma maior concentração de usuários conectados na rede gera

um alto tráfego de dados pela quantidade de aplicativos, serviços e aplicações sendo utilizadas. Para exemplificar esta distribuição organizacional de Nova York a Figura 11 deste estudo de caso define os limites de cada distrito, destacando que a região com uma maior densidade demográfica foi Manhattan.

Figura 11 – Divisão em Distritos da Cidade de Nova York.



Fonte: Adaptado de (LUSHCHENKO, 2014).

Este estudo considera a divisão por distritos exibida na Figura 01 para aplicar a heurística de provisionamento de recursos de hardware, a fim de mitigar os impactos do efeito de maré e consequentemente, prover fluidez no tráfego de dados móveis. O cenário base foi normalizado para a extensão de 4 km² e segue a mesma porcentagem de usuários conectados fornecidos pelo banco de dados da cidade de Nova York, conforme descrito em Análise de dados (Capítulo 3). Foram utilizadas 100 SCs distribuídas uniformemente pelo cenário, uma macrocélula (D-RAN) e 500 UEs com os mesmos requisitos de QoS na rede. A Tabela 2 apresenta a configuração do cenário de todos os parâmetros usados neste Estudo de Caso.

O trabalho é baseado no movimento dos usuários e em sua cobertura por 24 horas, sendo cada hora corresponde a um período médio do experimento em que os usuários se encontram constantemente em movimento em Nova York, isso significa que o fluxo de dados está mudando devido à migração constante dos usuários. Uma análise de dados foi realizada, onde foi constatado que a constante movimentação de assinantes móveis caracteriza o Efeito de Maré e, atrelado a isso, uma série de problemas são gerados (desbalanceamento de carga e a ociosidade de recursos).

Tabela 2 – Parâmetros de Modelagem.

Parâmetros	Valor
Largura de Banda (B)	180 kHz
Perda de Propagação (Macrocell)	COST231
Perda de Propagação (Smallcell)	SUI-TYPE A
Potência de Transmissão (Macrocell)	43 dBm
Potência de Transmissão (Smallcell)	23 dBm
Área Total do Cenário	4 km ²
Altura da BS	16 m
Área de Cobertura (Small)	150 m
Área de Cobertura (Macro)	4 km
Intervalo de Confiança	95%
Número de experimentos	30

A primeira etapa do Estudo de Caso corresponde à Análise de Dados e configuração do cenário, feito isso, a heurística é executada para efetuar o dimensionamento da rede e o provisionamento de recursos de forma eficiente. Para a execução do método, primeiramente um somatório de toda a vazão do cenário é calculada, denominando-a “vazão agregada”. A partir disso, é possível definir quando a rede estaria com tráfego intenso de dados. Para caracterizar este fluxo de dados, porcentagens da vazão agregada foram definidas, a começar por 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de um total de dados. Este foi um método encontrado para exemplificar os momentos de alta/baixa do fluxo de dados.

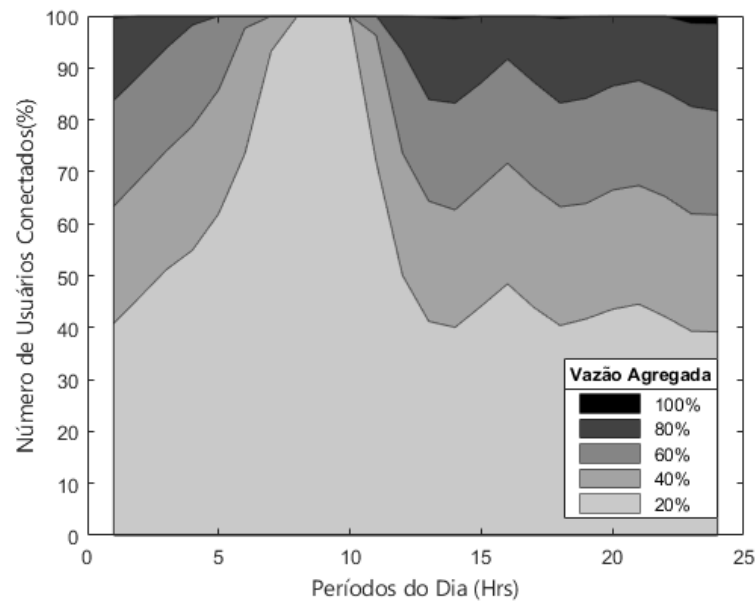
5.2.1 Avaliação do Efeito de Maré

O Efeito de Maré gera naturalmente variabilidade e flutuação do tráfego da rede. Com base na avaliação de metadados de Nova York, foi estimado o valor médio dos UEs conectados em 24 períodos, avaliando o valor médio dos UEs cobertos a cada hora do dia. Os limites para representar a capacidade total do cenário foram ponderados entre 20% e 100 % da taxa de transferência agregada conforme foi estabelecido no Estudo de Caso. Para isso, a Figura 12 apresenta o comportamento dos usuários de acordo com a abordagem.

Como mostrado na Figura 12, entre 8, 15 e 21 horas, há um aumento significativo no número de UEs ativos na rede para todas as porcentagens de vazão agregada, o que pode ser provocado pelo aumento na utilizações de aplicações e serviços em horários comerciais da Cidade (Nova York). Uma análise probabilística foi realizada nesta abordagem, no entanto, são considerados agora os valores de *Data Rate* por Períodos do dia. Para este cálculo, foi utilizado o nível de confiança de 95% , como vê-se na Figura 13.

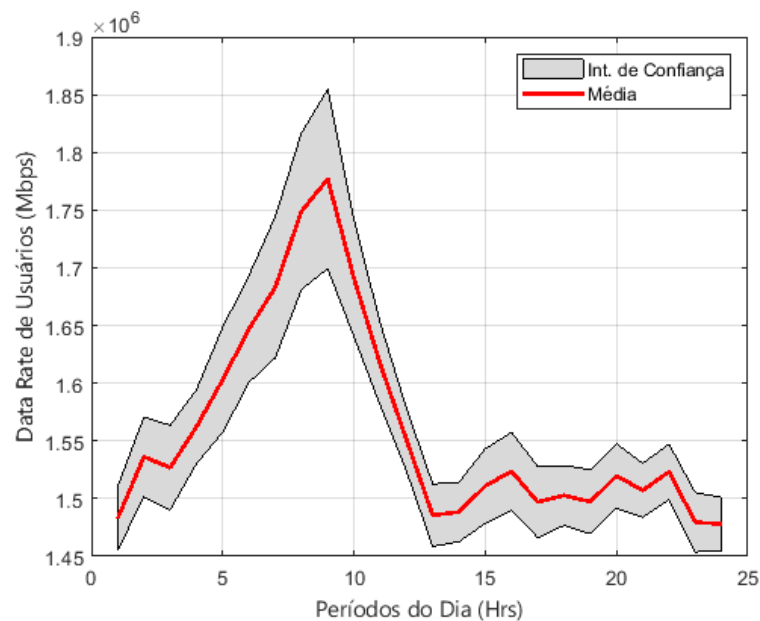
Na Figura 13, o intervalo de confiança é calculado em relação à média do *Data Rate* na condição de que, a rede possui 100% da vazão agregada. Em momentos de muita

Figura 12 – Número de Usuários Conectados (Abordagem de Usuário).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 13 – Intervalo de Confiança para Abordagem de Usuário.

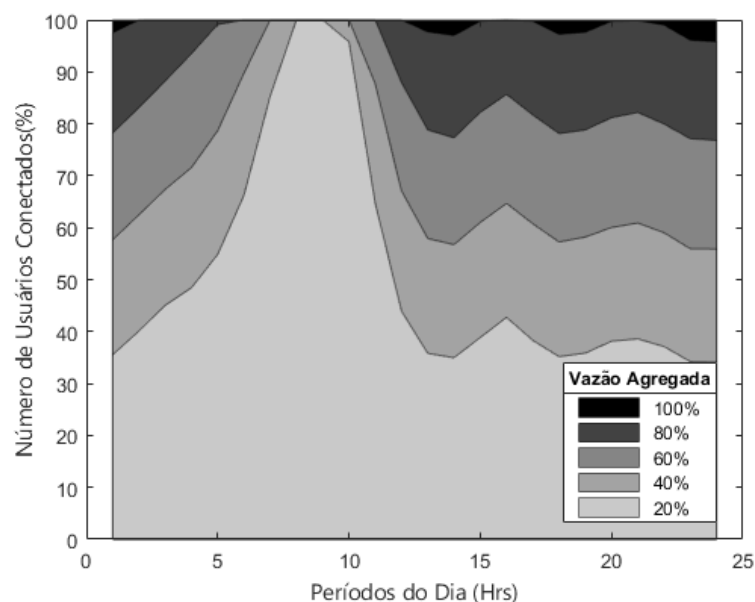


Fonte: Autoria Própria.

variação, mais especificamente nos períodos de “pico” do intervalo de confiança, houve um distanciamento da média, comprovando que a variação foi maior em decorrência da variabilidade do *Data Rate*, enquanto em momentos de menor variação, as taxas foram mais precisas em relação a média, representando um comportamento mais linear do *Data Rate*. Para a segunda abordagem expressa a seguir (Figura 14), os mesmos parâmetros

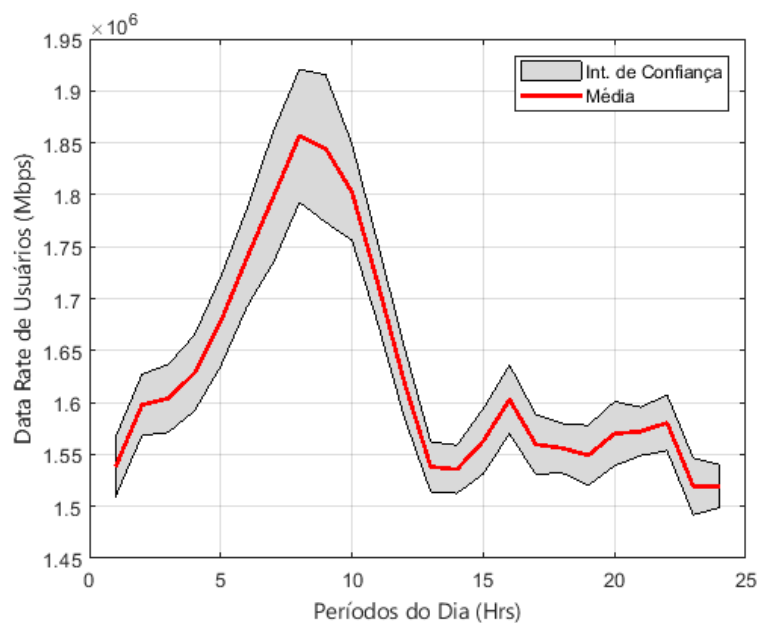
foram considerados, apresentando variação semelhante, no entanto, atendendo a menos usuários para cada limite de taxa de transferência agregada.

Figura 14 – Número de Usuários Conectados (Abordagem de Vazão).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 – Intervalo de Confiança para Abordagem de Vazão.



Fonte: Autoria Própria.

Considerando a abordagem de taxa de transferência (Figura 14) e o comportamento médio dos usuários em 24 horas, nota-se que os horários de pico permaneceram os mesmos

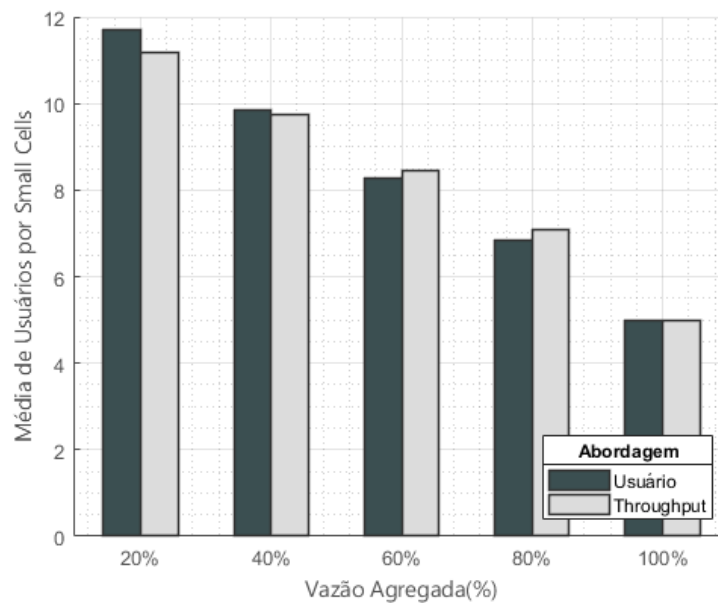
da abordagem anterior; no entanto, o número de UEs ativos diminuiu, especificamente para 60%, 80% e 100% da taxa de transferência agregada. Os resultados mostram que a abordagem dos usuários atende mais assinantes, atendendo aos requisitos mínimos de QoS. Para esta abordagem também foi realizada uma análise probabilística de intervalo de confiança, conforme visto na Figura 15.

Na Figura 15, a qual considera abordagem de taxa de transferência da heurística, o intervalo de confiança é calculado em relação à média do *Data Rate* na condição de que, a rede possui 100% da vazão agregada. Nesta análise é possível observar que o intervalo de confiança segue o mesmo comportamento da média, exceto onde a variação do intervalo foi mais acentuada. O distanciamento do intervalo sobre a média, pode ser justificado pela variação da taxa de dados de usuários conectados nesse período, o que se reflete no serviço utilizado, ou até mesmo no comportamento do Tráfego de Maré na rede.

5.2.2 Abordagens de Provisionamento

A arquitetura foi avaliada para verificar se há a necessidade de maiores investimentos na implantação de RRHs e, assim, otimizar o planejamento da rede. Para isso, definir quantos SCs são necessários para suportar o tráfego dinâmico da rede, já que este sofre alta interferência do Efeito de Maré, é de suma importância. A Figura 16 mostra a média de usuários conectados por SC para cada nível de taxa de transferência agregada.

Figura 16 – Média de Usuários Conectados por Small Cells.



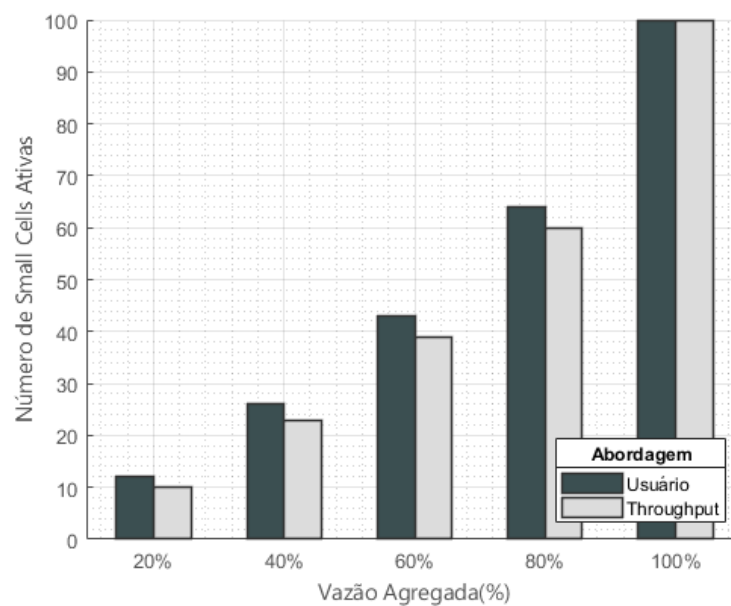
Fonte: Autoria Própria.

Para cobrir a alta capacidade do cenário, um número maior de antenas é ativado, reduzindo a média de UEs por antena (Figura 16). Para cenários com baixa taxa de

transferência agregada (20 %, 40 % e 60 %), a abordagem do usuário manteve um número médio de usuários conectados por antena maior.

Com o aumento da capacidade agregada (acima de 60 %), a abordagem vazão demonstrou desempenho superior uma vez que apresentou maior média de usuários por antena do que a abordagem de usuário. Considerando a carga máxima na rede, as abordagens obtiveram a mesma média de usuários conectados, portanto, todas as antenas foram ativadas.

Figura 17 – Número de Small Cells Ativas.



Fonte: Autoria Própria.

A eficiência do esquema de alocação é avaliada com base em uma heurística que possui duas abordagens de provisionamento (Usuário e Taxa de transferência). Analisando seus respectivos desempenhos, pode-se observar que a abordagem de vazão, para atender a mesma capacidade do cenário, reduziu, em média 3 %, o número de antenas ativas (Figura 17).

Observe que em carga máxima (100 % da taxa de transferência agregada), é necessário ativar todos os SCs no cenário, nas duas abordagens analisadas (Figura 17). Em geral, a carga de tráfego varia com o tempo, principalmente quando a rede está sob condições de alto tráfego. Com carga reduzida, a realocação dinâmica de recursos pode ser mais eficiente (por meio do esquema de alocação adaptável para outras RRHs com maior carga de tráfego naquele momento) e com isso, o desequilíbrio de carga causado pelo Efeito de Maré pode ser efetivamente resolvido.

5.2.3 Probabilidade de Bloqueio (Usuários Desconectados)

A Probabilidade do Usuário Bloqueado é usada para determinar a porcentagem do cenário (em termos de usuários ou taxa de transferência) que deve ser atendida. Como o uso real dos recursos da rede varia ao longo do dia, a quantidade garantida de serviços que podem ser tratados também varia, pois 100 % de Probabilidade de Usuário Bloqueado é equivalente ao pico de uso dos recursos de rede.

Para uma avaliação e comparação mais cuidadosas das abordagens propostas, foi estimada a Probabilidade de Usuário Bloqueado (Tabela 3), analisando o desempenho de cada abordagem em relação à sua eficácia. Essa probabilidade é inversamente proporcional à taxa de transferência agregada e à eficiência do modelo; consequentemente, quanto menor esse valor, melhor a proposta é considerada.

Tabela 3 – Análise de Probabilidade de Bloqueio (Usuários Desconectados).

Vazão Agregada	Abordagem	
	<i>PB</i> (Usuário)	<i>PB</i> (Throughput)
20%	43%	49%
40%	24%	29%
60%	9%	12%
80%	0.1%	0.9%
100%	0	0

Como visto na Tabela 3, a abordagem do usuário teve um desempenho satisfatório, apresentando uma redução média de 3,7 % em *PB* para usuários desconectados em relação à abordagem de taxa de transferência. A diferença entre as abordagens pode ser observada como a variação da taxa de transferência agregada, no entanto, para cenários com alta densidade ou capacidade de 100% da rede, ambas as abordagens obtiveram *PB* iguais por conta de todas as antenas serem necessárias para atender a carga neste caso.

5.3 Conclusão do Capítulo

Analisando os resultados apresentados neste capítulo, é possível observar os pontos críticos relacionados ao estudo de planejamento/operação de redes móveis, cujo objetivo é propor soluções para a organização da rede a fim de maximizar a eficiência na utilização de recursos. Para o dimensionamento de rede, a heurística proposta obteve resultados significativos em mitigar os impactos ocasionados pelo Efeito de Maré.

Sobre o provisionamento de recursos de hardware, os resultados apontam que o modelo conseguiu atender (provisionar recursos de forma eficiente) as demandas da rede, haja vista o alto crescimento do tráfego de dados esperado para rede 5G e o comportamento do fluxo de dados. Este capítulo buscou não só indicar os resultados obtidos, mas ressaltar relevância do estudo de caso para o cenário de planejamento e operação de redes móveis.

6 Conclusões

6.1 Visão Geral

Este capítulo aponta as considerações finais dessa dissertação, mostrando um panorama geral das suas principais contribuições. Em vista dos fatos mencionados, nota-se que em meio às diversas soluções presentes na literatura sobre dimensionamento e provisionamento de recursos, esta proposta não se limitou apenas a propor um modelo para efetuar esse processo, mas em estudar todo o contexto do crescimento e movimentação do tráfego de dados em redes móveis, avaliando de que forma isso altera o desempenho das redes de acesso via rádio. Nesta seção, serão descritas ainda, as contribuições dessa dissertação, as contribuições adicionais, os trabalhos futuros e por fim, as dificuldades encontradas.

6.2 Conclusões

O dimensionamento de hardware na BBU e o mapeamento de UE-RRHs são fatores que impactam diretamente no provisionamento de recursos em redes móveis, especialmente na fase de planejamento e operação. Portanto, essa dissertação utilizou um método de análise de dados para estudar o comportamento do tráfego de rede na cidade de Nova York, observando que a variabilidade do fluxo de dados é um desafio para arquiteturas híbridas. Para essa análise foram aplicadas técnicas de mineração de dados (agrupamento) em um *Dataset* com informações de geolocalização de assinantes móveis.

Uma heurística com duas abordagens (uma baseada na taxa de transferência agregada e outra no número de usuários conectados) foi proposta para implementar um modelo de provisionamento dinâmico de recursos de hardware de acordo com a demanda. Este comportamento adaptativo do modelo faz-se altamente necessário, pois mesmo com a atuação do efeito de maré, provocando o desequilíbrio na carga da rede, o provisionamento obteve resultados satisfatórios a relação a variabilidade. Além disso, a heurística conseguiu atender à demanda não-uniforme por recursos, mantendo níveis de QoS para momentos de alta/baixa densidade de fluxo e quantificando o número necessários de SCs para cobrir a demanda da rede.

Uma análise foi realizada respeitando os mesmos parâmetros de modelagem para avaliação de desempenho dos modelos de provisionamento. Uma vez que o efeito de maré foi constatado em Nova York, cidade com características típicas de um centro urbano densificado (alta densidade de fluxo), a abordagem de vazão é mais eficiente, atendendo a

demanda da rede com redução de 13 % no número de antenas ativas, enquanto a abordagem do usuário precisa de mais antenas ativas para atender à mesma porcentagem de vazão agregada do cenário.

Considerando a Probabilidade de Usuário Bloqueado, a abordagem de usuário é mais eficiente, apresentando redução de 3,7 % nessa análise, o que significa que a probabilidade de usuários serem bloqueados é menor quando é levado em consideração o número de usuários conectados à rede móvel. Esse método de análise forneceu uma interpretação mais significativa da heurística, uma vez que o objetivo central da proposta foi primeiramente efetuar um dimensionamento eficiente da rede para então implantar o provisionamento dinâmico de recursos de hardware com base no efeito de maré.

Logo, os resultados mostram que é possível dimensionar o número de SCs para atender à demanda da rede (através do modelo de provisionamento), aplicando um esquema de alocação dinâmica de recursos em períodos de baixa/alta densidade de tráfego. Com o desempenho eficiente da heurística desenvolvida, os problemas relativos ao efeito de maré podem ser potencialmente minimizados, além de haver a maximização no uso eficiente de recursos de hardware a nível da BBU.

6.3 Contribuições da Dissertação

A principal contribuição desse documento é o desenvolvimento de uma heurística para maximizar a eficiência no uso de recursos de hardware no nível da BBU. Além disso, a heurística é avaliada por meio de simulações que usam dados reais de geolocalização em sua elaboração, garantindo que o método se adapte a cenários com alta variabilidade do tráfego de dados e implemente o provisionamento eficiente de recursos por meio de sua redistribuição adaptativa entre antenas, atenuando os impactos da carga desequilibrada de dados e desperdício de recursos no ambiente rede provocado pelo Efeito de Maré. Outras contribuições podem ser vistas em:

- Levantamento científico acerca dos principais conceitos e tecnologias relacionadas ao planejamento operação de redes móveis, justamente com uma extensa revisão bibliográfica nos trabalhos relacionados ao tema;
- Análise de dados e aplicação de técnicas de mineração (agrupamento) em uma fonte de dados no cenários de Nova York. Esses foram utilizados para obtenção de informações precisas de localização de usuários e consequentemente, especificação do Efeito de Maré;
- Implementação da formulação matemática para o dimensionamento de rede e o provisionamento de recursos, abrangendo outras áreas, como o efeito de maré,

arquiteturas de acesso via rádio, crescimento do tráfego de dados entre outros problemas relacionados ao tema abordado;

- Aplicação da heurística desenvolvida em um cenário real de movimentação de usuários, onde foi possível observar que a migração de pessoas é um dos pontos fortes para constatar a variabilidade do tráfego de dados;
- Através dos resultados obtidos, foi possível mostrar a eficiência da heurística para o provisionamento de recursos de hardware considerando dados reais de geolocalização de assinantes móveis. Além disso, foi possível minimizar a probabilidade de bloqueio para usuários conectados e dimensionar o número de BSs para atender a demanda da rede com o mínimo desperdício de recursos;
- Coorientação de Trabalho de Conclusão de Curso do Aluno João Guilherme Miranda Paixão, cuja orientação está sendo feita pelo Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso, sobre o tema “Método de Dimensionamento Auto-organizado para Operação em Redes de Acesso Via Rádio”.
- A divulgação do trabalho por meio de publicação de artigo em conferências conceituadas da área de redes de computadores e telecomunicações, nas quais são apresentadas a proposta e os resultados do estudo de caso dessa dissertação.

Além das contribuições supracitadas, este trabalho gerou duas publicações na área, vistas em:

- FALCAO, I. W. S.; VIEIRA, R. F. ; SERUFFO, M. C. R. ; CARDOSO, D. L. Provisionamento de Recursos de Hardware em Redes Híbridas de Acesso por Rádio com Base no Efeito de Maré. In: 18º WPerformance: Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação, 2019, Belém. Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2019.
- FALCAO, I. W. S.; VIEIRA, R. F. ; PEREIRA, P. H. A. ; SILVA, H. J. ; SERUFFO, M. C. R. ; CARDOSO, DIEGO L. Heurística para Dimensionamento de Recursos em Redes Híbridas de Acesso via Rádio. In: IX CONFERÊNCIA NACIONAL EM COMUNICAÇÕES, REDES E SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO, 2019, Petrolina. Conferência Nacional em Comunicação, Redes e Segurança da Informação, 2019.

6.4 Contribuições Adicionais

As contribuições adicionais dessa dissertação estão ligadas a pesquisa e desenvolvimento de atividades em outros ramos da computação aplicada, como Computação em Nuvem, Telecomunicações e Interface Humano-Computador (IHC). Nesse processo

foram produzidos outros trabalhos acadêmicos e publicações em conferências nacionais, internacionais e periódicos, além de colaboração em outras pesquisas, conforme listado a seguir:

- FALCAO, I. W. S.; SOUZA, D. S. ; ARAUJO, F. P. O. ; FERNANDES, J. G. S. ; PIRES, Y. P. ; CARDOSO, D. L. ; SERUFFO, M. C. R. . Usability and Cognitive Benefits of a Serious Game to Combat *Aedes aegypti* Mosquito. In: 32th IEEE CBMS International Symposium on Computer-Based Medical System, 2019, Córdoba. International Symposium on Computer-Based Medical Systems, 2019.
- FALCAO, I. W. S.; PEREIRA, P. H. A. ; VIEIRA, R. F. ; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. ; SOUZA, D. S. ; SERUFFO, M. C. R. ; CARDOSO, D. L. . Modelagem de Custo Total de Propriedade (TCO) de uma Infraestrutura Computacional em Nuvem. In: 46º Seminário Integrado de Software e Hardware - SEMISH, 2019, Belém. Seminário Integrado de Software e Hardware, 2019.
- VIEIRA, R. F. ; CUNHA, R. C. P. ; PEREIRA, P. H. A. ; FALCAO, I. W. S. ; SOUZA, D. S. ; CARDOSO, D. L. . Meta-heurística para Alocação de Recursos Aplicada a Redes de Acesso Centralizado. In: 46º Seminário Integrado de Software e Hardware - SEMISH, 2019, Belém. Seminário Integrado de Software e Hardware, 2019.
- CUNHA, R. C. P. ; VIEIRA, R. F. ; PEREIRA, P. H. A. ; FALCAO, I. W. S. ; SOUZA, D. S. ; CARDOSO, D. L. . Alocação de Recursos de Hardware em Arquitetura C-RAN Utilizando DPSO. Brazilian Journal of Development, v. 5, p. 29940-29955, 2019.
- FALCAO, I. W. S.; PEREIRA, P. H. A. ; VIEIRA, R. F. ; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. ; SOUZA, D. S. ; SERUFFO, M. C. R. ; CARDOSO, D. L. . Modelo de Custo Total de Propriedade para Avaliação de Infraestruturas em Nuvem. Brazilian Journal of Development, v. 5, p. 22663, 2019.
- FALCAO, IGOR W. S.; SERUFFO, MARCOS C. R. ; SOUZA, DANIEL DA S. ; CARDOSO, DIEGO L. ; FERREIRA, JOSE J. H. ; DA SILVA, MARCELINO S. . A Comparative Analysis of Local and Cloud Access Assessment for Multimodal Interactive Application. In: 2018 4th International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications (Cloudtech), 2018, Brussels. 2018 4th International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications (Cloudtech), 2018. p. 1.

6.5 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, outras abordagens devem ser levantadas da literatura científica para executar o esquema de provisionamento de recursos de hardware e diante disso, verificar sua viabilidade e eficácia para o cenário em questão, como uma heurística de Machine Learning por exemplo. Essa técnica pode ser considerada para implementar regras de dimensionamento de acordo com as distribuições do usuário na rede, cujo comportamento segue uma ordem não-uniforme de posicionamento. A mobilidade de usuários é um fator de grande discussão atualmente, pois é um dos principais causadores do efeito de maré, que em analogia, provoca diversos problemas na rede.

Em ambientes com alta variabilidade de fluxo de dados, deve-se considerar outros parâmetros para implementação eficiente de técnicas de planejamento e operação de rede, como por exemplo, eficiência energética, avaliação de custos operacionais e *Dataset* com informações de geolocalização mais abrangentes. Com a atuação do efeito de maré e a não-estacionariedade dos usuários móveis, a utilização de novos parâmetros de rede atrelada a outras técnicas mais robustas, certamente seriam positivos para os avanços desta linha de pesquisa.

6.6 Dificuldades Encontradas

Durante o desenvolvimento desta dissertação algumas dificuldades foram encontradas, que, embora tenham atuado contrariamente a essa produção, foram sanadas e não influenciaram na obtenção dos resultados esperados. Estas adversidades são listadas a seguir:

- Dificuldade na etapa de análise de dados de geolocalização de usuários, especialmente na etapa de pré-processamento e mineração, pelo motivo de ser necessária uma organização prévia de todas as informações contidas na base de dados;
- A do estado da arte sobre os conceitos que permeiam o crescimento do tráfego de dados esperados para 5G geração de redes móveis, redes centralizadas, redes híbridas, sobre efeito de maré e técnicas aplicadas ao planejamento e operação de redes móveis;
- Ausência de informações precisas sobre o efeito de maré em relação ao tratamento e organização dos problemas do desbalanceamento de carga, ociosidade e desperdícios de recursos;
- Empenho no processo de desenvolvimento da heurística proposta, de modo a encontrar uma forma eficiente de modelá-los da maneira mais objetiva e simples possível;

- Tempo necessário para se aperfeiçoar no uso de ferramentas como Matlab, QGIS, Excel e MySQL, para o correto tratamento de dados, implementação do modelo e geração de gráficos para essa dissertação.

Referências

- AALST, W. V. D. Data science in action. In: *Process mining*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 3–23. Citado na página 15.
- AHMED, R. F. et al. Optimization of power consumption and handover margin of sleep/active cells in dynamic h-cran. In: IEEE. *2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP)*. [S.l.], 2018. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 25.
- AL-FALAHY, N.; ALANI, O. Y. Technologies for 5g networks: Challenges and opportunities. *IT Professional*, IEEE, v. 19, n. 1, p. 12–20, 2017. Citado na página 8.
- AL-SAMMAN, I. et al. A framework for resources allocation in virtualised c-ran. In: IEEE. *2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. [S.l.], 2016. p. 1–7. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 25.
- ALVIZU, R. et al. Energy efficient dynamic optical routing for mobile metro-core networks under tidal traffic patterns. *Journal of Lightwave Technology*, IEEE, v. 35, n. 2, p. 325–333, 2016. Citado na página 15.
- ANDREWS, J. G. et al. What will 5g be? *IEEE Journal on selected areas in communications*, IEEE, v. 32, n. 6, p. 1065–1082, 2014. Citado na página 8.
- APOSTOLOPOULOS, D. et al. Analog radio-over-fiber solutions in support of 5g. In: IEEE. *2018 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM)*. [S.l.], 2018. p. 266–271. Citado na página 2.
- BARTELT, J. et al. Fronthaul and backhaul requirements of flexibly centralized radio access networks. *IEEE Wireless Communications*, IEEE, v. 22, n. 5, p. 105–111, 2015. Citado na página 12.
- BASTOS, A. V.; JÚNIOR, D. C. da S. Cloud radio access network (cran): Tecnologia emergente para arquiteturas de redes celulares de 5g. Citado na página 12.
- CASTRO, B. et al. Cost231-hata and sui models performance using a lms tuning algorithm on 5.8 ghz in amazon region cities. In: IEEE. *Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation*. [S.l.], 2010. p. 1–3. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.
- CHECKO, A. et al. Cloud ran for mobile networks—a technology overview. *IEEE Communications surveys & tutorials*, IEEE, v. 17, n. 1, p. 405–426, 2014. Citado na página 34.
- CHEFFENA, M.; MOHAMED, M. Empirical path loss models for wireless sensor network deployment in snowy environments. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, IEEE, v. 16, p. 2877–2880, 2017. Citado na página 33.
- CHEN, Y.-S.; CHIANG, W.-L.; SHIH, M.-C. A dynamic bbu-rrh mapping scheme using borrow-and-lend approach in cloud radio access networks. *IEEE Systems Journal*, IEEE, v. 12, n. 2, p. 1632–1643, 2017. Citado na página 20.

- CHUGHTAI, N. A. et al. Energy efficient resource allocation for energy harvesting aided h-cran. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 43990–44001, 2018. Citado na página 2.
- CHUGHTAI, N. A. et al. Energy efficient resource allocation for energy harvesting aided h-cran. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 43990–44001, 2018. Citado na página 10.
- CISCO, C. V. N. Global mobile data traffic forecast update, 2016–2021. *white paper*, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 3.
- CISCO, V. Cisco visual networking index: Forecast and trends, 2017–2022. *White Paper*, v. 1, 2018. Citado na página 1.
- CISCO, V. N. I. *The zettabyte era: Trends and analysis (2017)*. 2017. Citado na página 1.
- CORDENONSI, A. Z. Ambientes, objetos e dialogicidade: uma estratégia de ensino superior em heurísticas e metaheurísticas. 2008. Citado na página 18.
- DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. *5G NR: The next generation wireless access technology*. [S.l.]: Academic Press, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 8.
- DOMINICO, S. Provisionamento de recursos computacionais baseado em redes de petri para bancos de dados orientados a leitura. 2016. Citado na página 24.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, v. 17, n. 3, p. 37–37, 1996. Citado na página 16.
- FEYYAD, U. Data mining and knowledge discovery: Making sense out of data. *IEEE expert*, IEEE, v. 11, n. 5, p. 20–25, 1996. Citado na página 16.
- GOLDBARG, E.; GOLDBARG, M.; LUNA, H. *Otimização Combinatória e Metaheurísticas: Algoritmos e Aplicações*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2017. Citado na página 18.
- GONÇALVES, M. d. P. d. S. et al. Alocação de dois níveis para uma arquitetura h-cran baseada em offloading. Universidade Federal do Pará, 2019. Citado na página 14.
- GORUNESCU, F. *Data Mining: Concepts, models and techniques*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011. v. 12. Citado na página 16.
- GUDIPATI, A. et al. Softran: Software defined radio access network. In: *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 25–30. Citado na página 9.
- GUPTA, A.; JHA, R. K. A survey of 5g network: Architecture and emerging technologies. *IEEE access*, IEEE, v. 3, p. 1206–1232, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 9.
- HABIBI, M. A. et al. A comprehensive survey of ran architectures toward 5g mobile communication system. *IEEE Access*, IEEE, v. 7, p. 70371–70421, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 11, 13 e 14.
- HOSSAIN, E.; HASAN, M. 5g cellular: key enabling technologies and research challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, IEEE, v. 18, n. 3, p. 11–21, 2015. Citado na página 9.

- JARA, N.; VALLEJOS, R.; RUBINO, G. Blocking evaluation and wavelength dimensioning of dynamic wdm networks without wavelength conversion. *Journal of Optical Communications and Networking*, Optical Society of America, v. 9, n. 8, p. 625–634, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- KHAN, M.; SABIR, F. A.; AL-RAWESHIDY, H. S. Load balancing by dynamic bbu-rrh mapping in a self-optimised cloud radio access network. In: IEEE. *2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT)*. [S.l.], 2017. p. 1–5. Citado 3 vezes nas páginas 2, 20 e 25.
- KLEMETTINEN, M. *A knowledge discovery methodology for telecommunication network alarm databases*. [S.l.]: University of Helsinki Helsinki, Finland, 1999. Citado na página 16.
- LEW, M. S. Next-generation web searches for visual content. *Computer*, IEEE, v. 33, n. 11, p. 46–53, 2000. Citado na página 9.
- LIMA, Y. F. F. M. et al. Planeamento de uma rede de comunicações para o instituto superior de ciências da educação do lubango, angola. 2009. Citado na página 22.
- LUN, J. et al. Millimetre wave backhaul/fronthaul deployments for ultra-dense outdoor small cells. In: IEEE. *2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*. [S.l.], 2016. p. 187–192. Citado na página 11.
- LUSHCHENKO, A. *Vector illustration of New York city map*. 2014. Disponível em: <<https://www.dreamstime.com/new-york-city-map-vector-illustration-image118581393>>. Acesso em: 02 Dez. 2019. Citado na página 39.
- MAURICIO, W. V. F. et al. Resource allocation for energy efficiency and qos provisioning. *Journal of Communication and Information Systems*, v. 34, n. 1, p. 224–238, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 25.
- MORCOS, M. et al. A two-level auction for resource allocation in multi-tenant c-ran. *Computer Networks*, Elsevier, v. 135, p. 240–252, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 21, 24 e 25.
- MUÑOZ, P.; SALIENT, O.; PÉREZ-ROMERO, J. Self-dimensioning and planning of small cell capacity in multitenant 5g networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, IEEE, v. 67, n. 5, p. 4552–4564, 2018. Citado na página 23.
- PÉREZ, G. O.; HERNÁNDEZ, J. A.; LARRABEITI, D. Fronthaul network modeling and dimensioning meeting ultra-low latency requirements for 5g. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, IEEE, v. 10, n. 6, p. 573–581, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 25.
- PFEIFFER, T. Next generation mobile fronthaul and midhaul architectures. *Journal of Optical Communications and Networking*, Optical Society of America, v. 7, n. 11, p. B38–B45, 2015. Citado na página 12.
- POMPILI, D.; HAJISAMI, A.; VISWANATHAN, H. Dynamic provisioning and allocation in cloud radio access networks (c-rans). *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 30, p. 128–143, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

- POPOOLA, S. I. et al. Path loss dataset for modeling radio wave propagation in smart campus environment. *Data in brief*, Elsevier, v. 17, p. 1062–1073, 2018. Citado na página 33.
- RAO, S. S. *Engineering optimization: theory and practice*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2019. Citado na página 18.
- REZENDE, S. O. *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*. [S.l.]: Editora Manole Ltda, 2003. Citado na página 16.
- ROSHDY, A.; GABER, A.; KHAIRY, M. Radio resources dimensioning using machine learning with case study in live network. In: IEEE. *2017 International Conference on Computer and Applications (ICCA)*. [S.l.], 2017. p. 67–73. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- SALIBA, D. et al. Wifi dimensioning to offload lte in 5g networks. In: IEEE. *2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*. [S.l.], 2019. p. 0521–0526. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 25.
- SANTOS, J. et al. Resource provisioning for iot application services in smart cities. In: IEEE. *2017 13th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*. [S.l.], 2017. p. 1–9. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- SHARMA, P. Evolution of mobile wireless communication networks-1g to 5g as well as future prospective of next generation communication network. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, v. 2, n. 8, p. 47–53, 2013. Citado na página 7.
- SINGH, S. et al. Blocking probability reduction in optical networks to enhance the quality of service. In: IEEE. *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. [S.l.], 2018. p. 603–608. Citado na página 17.
- SOUZA, P. A. d. et al. Rede de acesso virtualizada: alocação e posicionamento de recursos. Universidade Federal de Goiás, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- TAHA, H. A. *Operations research: an introduction*. [S.l.]: Pearson Education India, 2013. Citado na página 17.
- TAUFIQUE, A. et al. Planning wireless cellular networks of future: Outlook, challenges and opportunities. *IEEE Access*, IEEE, v. 5, p. 4821–4845, 2017. Citado na página 3.
- TERADA, J. et al. Optical access network technology for 5g wireless front/backhaul network. In: IEEE. *2016 21st OptoElectronics and Communications Conference (OECC) held jointly with 2016 International Conference on Photonics in Switching (PS)*. [S.l.], 2016. p. 1–3. Citado na página 10.
- TROIA, S. et al. Identification of tidal-traffic patterns in metro-area mobile networks via matrix factorization based model. In: IEEE. *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*. [S.l.], 2017. p. 297–301. Citado 3 vezes nas páginas 2, 4 e 15.
- TSAI, C.; MOH, M. cache management and load balancing for 5g cloud radio access networks. In: *Proceedings of the 2017 Symposium on Cloud Computing*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 630–630. Citado na página 10.

- TURK, Y.; ZEYDAN, E.; AKBULUT, C. A. On performance analysis of single frequency network with c-ran. *IEEE Access*, IEEE, v. 7, p. 1502–1519, 2018. Citado na página 12.
- TUSSYADIAH, I. P. A concept of location-based social network marketing. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, Taylor & Francis, v. 29, n. 3, p. 205–220, 2012. Citado na página 17.
- VENKATARAMAN, H.; TRESTIAN, R. *5G Radio Access Networks: centralized RAN, cloud-RAN and virtualization of small cells*. [S.l.]: CRC Press, 2017. Citado na página 12.
- VERMA, R.; SINGLA, P.; SAXENA, J. Blocking probability based comparative analysis of optical mesh networks using hegons simulator. In: IEEE. *2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*. [S.l.], 2016. p. 485–490. Citado na página 17.
- WANG, Y. et al. A heterogeneous graph embedding framework for location-based social network analysis in smart cities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 31.
- WANG, Y. et al. Dynamic tidal traffic grooming in software defined metropolitan networks. In: IEEE. *2017 Asia Communications and Photonics Conference (ACP)*. [S.l.], 2017. p. 1–3. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- XIONG, K. et al. Dynamic resource provisioning and resource customization for mixed traffics in virtualized radio access network. *IEEE Access*, IEEE, v. 7, p. 115440–115453, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- YAN, B. et al. Tidal-traffic-aware routing and spectrum allocation in elastic optical networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, Optical Society of America, v. 10, n. 11, p. 832–842, 2018. Citado 4 vezes nas páginas 1, 15, 21 e 25.
- ZHONG, Z. et al. Considerations of effective tidal traffic dispatching in software-defined metro ip over optical networks. In: IEEE. *2015 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)*. [S.l.], 2015. p. 1–3. Citado na página 15.
- ZHONG, Z. et al. Energy efficiency and blocking reduction for tidal traffic via stateful grooming in ip-over-optical networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, Optical Society of America, v. 8, n. 3, p. 175–189, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.