



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

**FACULDADE DE COMPUTAÇÃO  
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**CARLOS ANDRÉ BARROS LOPES**

**MODELO ANALÍTICO HÍBRIDO PARA SELEÇÃO DE NÓS  
RETRANSMISSORES EM CENÁRIOS COM ESCOAMENTO DE  
DADOS**

**Castanhal**

**2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

**FACULDADE DE COMPUTAÇÃO  
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**CARLOS ANDRÉ BARROS LOPES**

**MODELO ANALÍTICO HÍBRIDO PARA SELEÇÃO DE NÓS  
RETRANSMISSORES EM CENÁRIOS COM ESCOAMENTO DE  
DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo

Coorientador: Profa. Dra. Yomara Pinheiro Pires

**Castanhal  
2018**

Lopes, Carlos André Barros

MODELO ANALÍTICO HÍBRIDO PARA SELEÇÃO DE NÓS RETRANSMISSORES EM CENÁRIOS COM ESCOAMENTO DE DADOS/ CARLOS ANDRÉ BARROS LOPES. – Castanhal, 2018.

68 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo

Coorientador: Profa. Dra. Yomara Pinheiro Pires

Trabalho de Conclusão de Curso – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ,  
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 2018.

1. escoamento de Tráfego. 2. Dispositivos Retransmissores. 3. Modelos Analíticos.  
4. Algoritmos de Seleção I. Título.

**CARLOS ANDRÉ BARROS LOPES**

**MODELO ANALÍTICO HÍBRIDO PARA SELEÇÃO  
DE NÓS RETRANSMISSORES EM CENÁRIOS COM  
ESCOAMENTO DE DADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do bacharel em Sistemas de Informação.

Data da Defesa: 13 de Dezembro de 2018  
Conceito: Excelente

**Banca Examinadora**

---

**Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo**  
Faculdade de Ciência da Computação - UFPA  
Orientador

---

**Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso**  
Faculdade de Engenharia da Computação e  
Telecomunicações - UFPA  
Membro da Banca

---

**Profa. Dra. Ketyllen da Costa Silva**  
Laboratório de Planejamento de Redes de Alto  
Desempenho (LPRAD) - UFPA  
Membro da Banca

Castanhal  
2018

*Dedico este trabalho à todos os membros de minha família e aos meus amigos que me incentivaram durante toda a trajetória de minha graduação.*

# AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Francisco de Oliveira Lopes e Joelza Lúcia Barros Lopes, por todo o esforço atribuído durante minha graduação, pelo suporte em dias difíceis, aos incentivos para que eu alcançasse meus sonhos e pelo imenso amor compartilhado em nosso laço familiar. À todas as forças cósmicas do universo que sempre influenciaram no meu crescimento pessoal, e que manipularam os acontecimentos que me beneficiaram até hoje.

A todos os membros da família que auxiliaram para meu crescimento pessoal. Aos meus tios Joelton Oliveira Barros e Joelson Oliveira Barros, pois ambos estiveram sempre presentes para me auxiliar durante minha graduação. Aos meus irmãos que sempre estiveram proporcionando inúmeras experiências de aprendizado para mim. À Raymilis Maria Matias Moreira, minha noiva, por todos os conselhos e por sempre me ajudar à superar as adversidades diárias.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, além do auxílio à minha adesão nas pesquisas realizadas através dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Desenvolvimento de Sistemas (LADES), onde os conhecimentos adquiridos por mim serão utilizados no resto da minha vida acadêmica. Aos colegas do Laboratório que tanto incentivaram a produção desta pesquisa, e aos amigos acrescentados durante a graduação, integrantes do grupo de desenvolvimento *Hue Systems* e da empresa *Link Jr*, pelas madrugadas de trabalho árduo, realização de projetos e o compartilhamento de conhecimentos e experiências.

À Universidade Federal do Pará por possibilitar a oportunidade meu crescimento profissional e acadêmico através das experiências aqui adquiridas. Aos diretores, secretários e corpo docente da Faculdade de Computação (FACOMP) pelo suporte oferecido durante minha graduação.

E a todos que diretamente e indiretamente influenciaram e fizeram parte de minha formação acadêmica e pessoal durante minha graduação. Agradeço a todos.

## RESUMO

Em cenários de redes celulares com alta densidade de usuários a qualidade de serviços tende a ser reduzida pela interferência gerada pelos dispositivos dos usuários o *overhead* na antena da estação base. Em meio a isto, surge o escoamento de tráfego cujo propósito é distribuir o sinal por meio de usuários retransmissores capazes de otimizar a entrega dos dados. Através disso é proposto o HAMAT, um modelo analítico híbrido que contribui para escoamento de tráfego a partir da seleção de usuários retransmissores ideais. Este trabalho apresenta um modelo analítico híbrido, chamado HAMAT, que considera os modelos analíticos AHP e TOPSIS para a tomada de decisão. Este modelo analítico é designado para seleção de usuários retransmissores ótimos durante o escoamento de tráfego em redes celulares. O HAMAT considera múltiplos critérios para a tomada de decisão, tal como as métricas de QoS: Atraso, Vazão e Perda de Pacotes e a métrica espacial, Distância Euclidiana. A proposta é validada a partir de simulações computacionais e comparações com outros algoritmos de seleção, levando em consideração a qualidade de serviço, nesse contexto o HAMAT superou os demais algoritmos com uma melhoria nos parâmetros de QoS com até 61% em um dos cenários avaliados.

**Palavras-chave:** Escoamento de Tráfego. Dispositivos Retransmissores. Modelos Analíticos. Algoritmos de Seleção.

## ABSTRACT

In scenarios of cellular networks with high user density the quality of services tends to be reduced by the interference generated by users' devices overhead on the base station antenna. In the middle of this, the traffic flow arises whose purpose is to distribute the signal through relay users capable of optimizing data delivery. HAMAT is proposed, a hybrid analytical model that contributes to traffic flow from the selection of ideal relay users. This work presents a hybrid analytical model, called HAMAT, which considers AHP and TOPSIS analytical models for decision making. This analytical model is designed to select optimal relay users during the flow of traffic in cellular networks. HAMAT considers multiple criteria for decision making, such as the QoS metrics: Delay, Flow and Packet Loss, and the spatial metric, Euclidean Distance. The proposal is validated from computational simulations and comparisons with other selection algorithms, taking into account the quality of service, in this context the HAMAT overcame the other algorithms with an improvement in QoS parameters up to 61% in one of the evaluated scenarios .

**Keywords:** Offloading. Relay Nodes. Analytical Models. Selection Algorithms.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – EPC e E-ULTRAN LTE . . . . .	20
Figura 2 – Arquitetura tecnologia LTE . . . . .	21
Figura 3 – Arquitetura a tecnologia LTE-A . . . . .	22
Figura 4 – Modelos de Escoamento de Dados Móveis . . . . .	25
Figura 5 – Curvas de Indiferença no TOPSIS . . . . .	35
Figura 6 – Cenário Proposto . . . . .	50
Figura 7 – Fluxograma do método Agrupamento . . . . .	50
Figura 8 – Fluxograma do método Inundação . . . . .	51
Figura 9 – Fluxograma do método Aleatório . . . . .	51
Figura 10 – Fluxograma do método HAMAT . . . . .	51
Figura 11 – Resultados de QoS da Rede nos Cenários Propostos . . . . .	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala Fundamental de Saaty . . . . .	31
Tabela 2 – Modelo de Matriz de Prioridade de Critérios . . . . .	32
Tabela 3 – Valores de <i>RI</i> para Matrizes Quadradas de Ordem <i>n</i> . . . . .	32
Tabela 4 – Matriz de Prioridade do Cenário Proposto . . . . .	45
Tabela 5 – Matriz de Prioridade do Cenário Normalizada . . . . .	45
Tabela 6 – Pesos dos Critérios . . . . .	46
Tabela 7 – Matriz de Decisão . . . . .	47
Tabela 8 – Conversão dos parâmetros para máxima . . . . .	47
Tabela 9 – Matriz de Normalização dos Critérios . . . . .	47
Tabela 10 – Matriz critério com pesos . . . . .	48
Tabela 11 – Valores Ideias . . . . .	48
Tabela 12 – Valores Não ideais . . . . .	48
Tabela 13 – Desvio em relação ao atributo . . . . .	48
Tabela 14 – Ranking das tecnologias com TOPSIS em ordem de melhor escolha . . . . .	49
Tabela 15 – Parâmetros de Configuração das Simulações . . . . .	54
Tabela 16 – Média Absoluta dos Parâmetros de QoS nos Cenários Propostos Apenas com Retransmissores . . . . .	55
Tabela 17 – Quantidade de Retransmissores Utilizados por Cada Algoritmo . . . . .	56
Tabela 18 – Percentual de Melhoria de QoS Oferecido pelo HAMAT em Relação aos Algoritmos Avaliados . . . . .	57
Tabela 19 – Percentual de Melhoria do QoS Total do HAMAT em Relação aos Algoritmos nos Cenários Propostos . . . . .	58

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACK	Acknowledgement
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIPN	All Ip Based Network
ANP	Process Analytic Network
AOD	On-Demand Distance Vector Routing
BER	Bits Error Rate
BS	Stations Base
BSS	Basic Service Set
CA	Carrier Aggregation
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CH	Cluster Head
CoMP	Coordinate Multipoint
CRE	Cellular Reach Expansion
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
D2D	Device To Device
DSR	Dynamic Source Routing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
E2E	End To End
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
E-ULTRAN	Evolved UTRAN
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum
GC	Group Client
GO	Group Order
GSC	Global Social Chain
HAMAT	Hibrid Analytic Model With AHP And TOPSIS
HR-DSSS	High Rate Dsss
IEEE	Institute Of Electrical And Electronics Engineers

IMT-A	International Mobile Telecommunications Advanced
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LT	Loss Of Trajectory
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution – Advance
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad Hoc Network
MCC	Mobile Cloud Computing
MCDA	Multiple Criteria Decision Aid
MCDM	Multiple Criteria Decison Making
MSNets	Master-Slave Networks
NHIS	National Health Interview Survey
NS3	Network Simulator
ODMRP	On-Demand Multicast Routing Protocol
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
P2P	Peer To Peer
PDR	Packet Delivery Rate
PHY	Physical Layer
QoS	Quality Of Service
T2T	Terminal To Terminal
TOM	Traffic Offloading Maximization
TOPSIS	Technique For Order Of Preference By Similarity To Ideal Solution
UE	Equipament Of User
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WLANs	Wireless Local Access Network

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Visão Geral</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Motivação</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>17</b>
<b>1.5</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>17</b>
<b>1.6</b>	<b>Organização dos Textos</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>LTE - Long Term Evolution</b>	<b>19</b>
2.2.1	Arquitetura	19
2.2.2	LTE-A	21
<b>2.3</b>	<b>IEEE 802.11</b>	<b>22</b>
2.3.1	Arquitetura	23
2.3.2	Wi-Fi - <i>Direct</i>	23
<b>2.4</b>	<b>Escoamento de Dados Móveis</b>	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Algoritmos de Seleção de Nós Retransmissores</b>	<b>26</b>
2.5.1	Agrupamento	26
2.5.2	Inundação	27
2.5.3	Aleatório	28
<b>2.6</b>	<b>Modelos Analíticos</b>	<b>29</b>
2.6.1	AHP	30
2.6.2	TOPSIS	33
<b>2.7</b>	<b>Simulador NS-3</b>	<b>35</b>
<b>2.8</b>	<b>Métricas de QoS</b>	<b>36</b>
<b>2.9</b>	<b>Conclusões do Capítulo</b>	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Escoamento de tráfego</b>	<b>39</b>
3.2.1	Algoritmos de Seleção	40
3.2.2	Modelos Analíticos	42
<b>3.3</b>	<b>Conclusões do Capítulo</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>HAMAT: HIBRID ANALYTIC MODEL WITH AHP AND TOPSIS</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>44</b>
<b>4.2</b>	<b>Aplicabilidade e Definição</b>	<b>44</b>
4.2.1	Definição do Vetor Peso Através do AHP	45
4.2.2	Tomada de Decisão pelo TOPSIS	46

<b>4.3</b>	<b>Descrição dos Cenários . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusões do Capítulo . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações Iniciais . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Descrição da Simulação . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>5.3</b>	<b>Resultados das Simulações . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>5.4</b>	<b>Conclusão do Capítulo . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>61</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Este capítulo irá tratar brevemente as tecnologias utilizadas pelas Redes Móveis, apresentando os principais vantagens e desafios enfrentados por este tipo de rede. Também serão apresentados as motivações, os objetivos gerais e objetivos específicos deste trabalho. Por fim são apresentados resumidamente os objetivos dos próximos capítulos deste trabalho.

## 1.2 Visão Geral

Nos últimos anos ocorreu um aumento considerável da demanda por serviços móveis, o que demonstra como este serviço tornou-se tão atrativo à sociedade. De acordo com dados estatísticos de (CISCO, 2017) cerca de 429 milhões, de novos dispositivos móveis foram adicionados à rede mundial de computadores. A (CISCO, 2017) ainda prevê que em 2021 cerca de 11,6 bilhões de dispositivos estarão conectados à internet, isto mostra um aumento de 8% da taxa de crescimento anual composto (CAGRC - Compound Annual Growth Rate) em relação ao ano de 2016.

Com a proliferação de dispositivos móveis e diversas aplicações móveis, as operadoras estão experimentando um crescimento fenomenal de dados móveis em todo o mundo. Conforme relatado pela indústria, o tráfego móvel global está mais do que dobrando a cada ano e a indústria de comunicações móveis precisa se preparar para um tráfego de até 1.000 vezes mais até 2020 (BLEICHER, 2013). Nota-se que a o aumento da quantidade de dispositivos móveis ativos à rede demandará novas arquiteturas e infraestruturas de rede para suportar a essa demanda.

A Evolução a Longo Prazo, (LTE - Long Term Evolution), é um conjunto de padrões (3GPP - 3rd Generation Partnership Project)<sup>1</sup> que desenvolve a tecnologia de acesso por rádio do sistema de telecomunicações móveis, com o intuito de permitir o acesso por rádio com alta taxa de dados, baixa latência e otimizada por pacote. De acordo com o trabalho (KU; WALSH, 2015) o LTE é conhecido como um sistema de comunicação sem fio 4G, e foi introduzido pela primeira vez no 3GPP *Release 8* e atualizado até o *Release 17* em 2018. Dependendo da complexidade do equipamento de comunicação envolvido, o LTE permite obter taxas de dados de *downlink* de 300 Mbps e até 75 Mbps de *uplink*.

A fim de acomodar o crescente uso de dados móveis e os novos aplicativos de multimídia, as tecnologias LTE e LTE-A (Long Term Evolution - Advance), foram especificadas pela 3GPP como as tecnologias emergentes de comunicação móvel para as redes sem fio móveis de banda larga da próxima geração (CAO et al., 2014). O sistema LTE foi projetado para ser um sistema baseado em pacotes contendo menos elementos de rede, o que melhora a capacidade e cobertura

---

<sup>1</sup> 3GPP - <<http://www.3gpp.org/>>

do sistema e oferece alto desempenho em termos de altas taxas de dados, baixa latência de acesso, operação flexível de largura de banda e integração com outros dispositivos sem fio existentes (ASTÉLY et al., 2009).

O rápido avanço na tecnologia de comunicação móvel tem impulsionado o alto crescimento do mercado de dispositivos móveis inteligentes (TRAPPEY et al., 2016). Em março de 2008 foi especificado pela União Internacional de Telecomunicações (ITU - *International Telecommunication Union*), a tecnologia de rede de comunicação móvel evoluiu oficialmente para a 4ª geração (4G) e foi nomeada como (IMT-A - *International Mobile Telecommunications Advanced*) (3GPP, 2010; ITU, 2010). Fundamentalmente, todas as tecnologias de LTE-A são a versão aprimorada do LTE, com tecnologias adicionais sendo desenvolvidas para 4G, por exemplo, Agregação Portadora (CA - *Carrier Aggregation*), Retransmissores, *Femto* e Múltiplos Pontos Coordenado (CoMP - *Coordinate Multipoint*) (HOLMA; TOSKALA, 2012).

O Wi-Fi *Direct* é uma tecnologia que foi recentemente padronizada pela WiFi *Alliance*<sup>2</sup> permite que os dispositivos móveis se comuniquem diretamente entre si sem um ponto de acesso sem fio. Para comunicação, os dispositivos com Wi-Fi *Direct* precisam estabelecer um grupo. Cada dispositivo de um grupo tem uma função estabelecida como como proprietário (GO - *Group Owner*) ou cliente do grupo (GC - *Group Client*). Sendo que o GO desempenha um papel de ponto de acesso. Depois que o grupo é estabelecido, outros dispositivos podem ingressar no grupo como clientes do grupo (SHAH, 2017).

### 1.3 Motivação

As gerações da rede LTE 3G e 4G oferecem conectividade de área ampla, no entanto, sabe-se que as conexões 3G sofrem atrasos longos e transferências lentas de dados, conforme explorado em diversas literaturas, tais como: (BARBERA et al., 2013; RAHIMI et al., 2012; CHUN et al., 2011). Isto resulta em aumento no consumo de energia e no custo do lado do usuário, além disso, com o aumento da densidade de usuários conectados a uma estação base, possibilita interferência aos usuários da borda da rede que, neste caso, são considerados usuários vítimas, conforme cita os autores (SINGH; MURTHY, 2018).

Observa-se que os hábitos dos usuários se adequam de acordo com as transformações que os serviços de telefonia ao decorrer dos anos (KU; WALSH, 2015). Os autores (BLUMBERG; LUKE, 2010) afirmam que a tendência atual é se afastar das chamadas de voz padrão para mensagens instantâneas e VIP (*Video IP*) usando aplicativos como *Skype*, *WhatsApp* e outros. Nos EUA, por exemplo, de acordo com o NHIS (*National Health Interview Survey*) afirma que dois em cada cinco lares americanos estão equipados apenas com telefones celulares, ou seja, 40% da população depende 100% deste tipo de serviço.

<sup>2</sup> Abreviatura de 'Wireless Fidelity' (Fidelidade Sem Fios) e marca registrada pertencente à *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA)

Devido à proliferação de dispositivos móveis avançados (isto é, *smartphones*, *tablets*), espera-se um aumento de 20 vezes no tráfego de dados nos próximos anos, forçando as operadoras de telefonia móvel a encontrar novas maneiras de aumentar significativamente sua capacidade de rede, fornecer melhor cobertura, e reduzir o congestionamento do tráfego (BENNIS et al., 2013).

Os serviços de telecomunicação vêm se adaptando às grandes demandas de usuários para garantir a qualidade de serviços (QoS - Quality of Service) aos consumidores destes serviços. Já que estes são fatores importantes para a qualidade do serviço móvel (TANG; NGUYEN; HUH, 2014). Afim de atender de forma mais eficiente esses serviços, a telefonia vem se alterando ao decorrer dos anos e a descentralização dos serviços móveis vem se tornando uma prática comum como nota-se nos trabalhos apresentados pelos autores (PASUPULATI; SHROPSHIRE, 2016; CHEN, 2015; PUNEETHA; NIRMALA, 2017). Onde os dispositivos considerados como da "borda" da rede, tornam-se fundamentais para facilitar o acesso de dados e otimizar a transferência.

Nesse contexto surge a implementação de escoamento de Wi-Fi, como solução para suprir essas necessidades da rede móvel, pois exibem baixas latências e atrasos de comunicação (RAHIMI et al., 2015). O escoamento de computação para uma nuvem móvel é uma solução promissora para aumentar as capacidades de computação de dispositivos móveis afirma os autores (JOŠILO; DÁN, 2018). Sendo assim dispositivos conectados ou colocados como pontos de acesso Wi-Fi podem ser usados para formar uma espécie de rede local próxima aos usuários como demonstra os autores (ZHUO et al., 2011; JUNIPER, 2011; CHOY et al., 2012; ZHOU et al., 2014).

Esta integração eficiente e econômica entre tecnologias de celular (por exemplo, 3G / LTE) e Wi-Fi, atraiu um interesse significativo da academia, da indústria e dos organismos de padronização, conforme apresentado em trabalhos como (JUNIPER, 2011; LEE et al., 2010; QUALCOMM, 2011). O uso de soluções locais somente com redes Wi-Fi, apesar de otimizar, cria problemas de escalabilidade e acesso à medida que o número de usuários aumenta. Entende-se que apesar da utilização do escoamento de tráfego via Wi-Fi, uma grande quantidade de usuários reunidos e conectados pode gerar uma queda considerável na qualidade do serviço. Apesar dos avanços na tecnologia dos dispositivos, recursos (energia, armazenamento, processamento) no *host* móvel são limitados (BENNIS et al., 2013).

Devido à tais limitações, métodos inteligentes de distribuição de usuários e tomada de decisões acerca desse cenário são propostos para evitar problemas de escalabilidade (QUALCOMM, 2011). Em meio a isto a seleção de nós retransmissores, que vem sendo utilizado pela academia, é visto como uma solução que se mostra bastante promissora para a otimização de rede móveis como afirma o autor (KUMARI; KAUR, 2016).

Neste trabalho é proposto a utilização de um modelo analítico híbrido, onde usa-se os modelos AHP e TOPSIS, para a seleção de usuários mestres, definido como Modelo Analítico Híbrido por AHP e TOPSIS para seleção de Nós Retransmissores definido como HAMAT

(*Híbrid Analytic Model with AHP and TOPSIS*), implementado em cenários de escoamento de dados via rede Wi-Fi, em cenários de rede LTE. Para comprovar a eficiência da proposta, a mesma é avaliada, de acordo com parâmetros de QoS, Vazão, Atraso, Jiiter e a Taxa de Pacotes Recebidos, obtidos nos resultados gerados de simulação computacional, e comparada com os algoritmos de seleção retransmissores por Agrupamento, Inundação e o Aleatório nos cenários propostos no trabalho.

## 1.4 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é propor um modelo analítico híbrido, intitulado HAMAT, para auxiliar o escoamento de tráfego em redes celulares de alta densidade, a partir da seleção de usuários retransmissores ideais. O método proposto, utiliza os modelos analíticos: AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), e seleciona os retransmissores ideais através de múltiplos critérios que são: Atraso, Vazão e Perda de Pacotes, e a métrica espacial, distância euclidiana entre os nós vizinhos.

## 1.5 Objetivos Específicos

Quanto aos objetivos específicos, englobam os seguintes tópicos:

- Desenvolver um cenário de escoamento de tráfego de dados móveis de uma rede LTE/4G para uma rede Wi-Fi no simulador NS3;
- Implementar a proposta HAMAT e os algoritmos de seleção nos diferentes cenários propostos;
- Avaliar o desempenho da proposta e dos demais algoritmos a partir das métricas de QoS e outros parâmetros;

Os resultados da rede foram obtidos por meio do simulador computacional, comprovando o benefício gerado a partir do método de escoamento de tráfego de uma rede LTE via uma rede Wi-Fi composta por usuários, a fim de otimizar a entrega de dados aos usuários finais. Além de comparar o modelo analítico proposto (HAMAT) com algoritmos de seleção. A escolha dos dispositivos retransmissores é realizada através da análise de desempenho da rede, onde a proposta demonstrou uma melhoria de até 249% em relação aos demais algoritmos comparados em seu melhor cenário.

## 1.6 Organização dos Textos

O trabalho está dividido em 5 capítulos, ordenados de acordo com as descrições abaixo:

- Capítulo 2: Apresenta um estudo sobre aspectos importantes relacionados à Redes Móveis com aprofundamento nas tecnologias LTE, IEEE Padrão 802.11, e da técnica de escoamento de tráfego utilizado em redes móveis. Será apresentado também o conceito dos algoritmos de seleção e modelos analíticos utilizados para tomada de decisões.
- Capítulo 3: Apresenta alguns trabalhos relacionados à técnica de Escoamento de Tráfego de redes LTE via Wi-Fi *Direct* e o uso Algoritmos e Modelos Analíticos para tomada de decisão. Ele descreve as características e o funcionamento de cada trabalho e as principais vantagens e desvantagens das soluções apresentadas em cada um.
- Capítulo 4: Detalha a proposta do trabalho, a construção do modelo analítico HAMAT e os passo a passo para a seleção do nó retransmissor no esquema proposto.
- Capítulo 5: Apresenta a configuração da rede, os cenários de simulação avaliados, as métricas, e a avaliação do desempenho da proposta nos cenários de interesse.
- Capítulo 6: Traz as considerações finais obtidas através dos experimentos e das análises realizadas, aponta as principais contribuições desse trabalho e apresenta algumas sugestões de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será apresentada a visão geral sobre as redes LTE *release* 8 e sua arquitetura. Em sequência a LTE-A *release* 10 é apresentada. Após isso serão apresentados o padrão Wi-Fi 802.11, e sua arquitetura padrão é apresentada. Em seguida é realizado o estudo na tecnologia do Wi-Fi *Direct*. No restante do capítulo serão apresentados as características do escoamento de tráfego em redes celulares, a definição de algoritmos de seleção, com aprofundamento dos algoritmos de agrupamento, inundação e aleatório são apresentados os modelos analíticos que apoiam na tomada de decisão neste tipo de cenário, especificamente o AHP e o TOPSIS, pois foram utilizados pela proposta do trabalho. Por fim, é definido o simulador de redes NS3 (*Network Simulator*) e as métricas de QoS.

### 2.2 LTE - *Long Term Evolution*

O LTE (*Long Term Evolution*) é um projeto dentro do (Projeto de Parceria de Terceira Geração) 3GPP para melhorar o padrão universal de telecomunicação móvel (UMTS - *Universal Mobile Telecommunication System*), e lidar com futuras evoluções tecnológicas. As metas incluíram a melhoria da eficiência espectral, a redução de custos, a melhoria dos serviços, o uso de novas oportunidades de espectro e espectro reformulado, e melhor integração com outros padrões abertos.

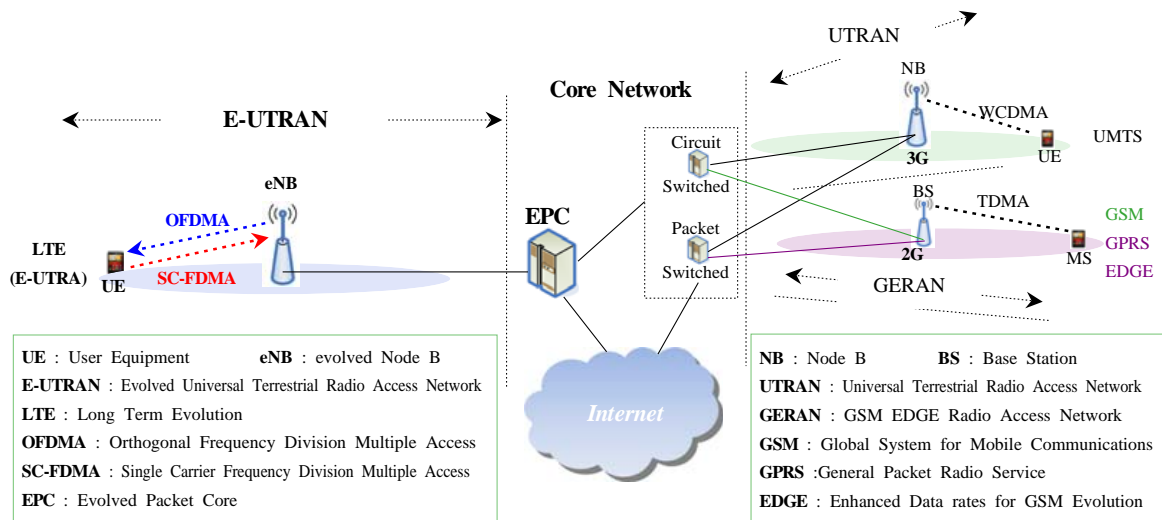
De acordo com a (ERICSSON, 2009) o LTE está no mercado desde 2007. A *Release* 8 foi fechada em dezembro de 2008 e esta foi a base para a primeira geração de equipamentos LTE. As especificações LTE são muito estáveis, com o benefício adicional de melhorias introduzidas em todas as versões subsequentes do 3GPP. A arquitetura resultante deste trabalho é denominada EPS (*Evolved Packet System*) e compreende E-UTRAN (*Evolved UTRAN*) no lado do acesso e o EPC (*Evolved Packet Core*) no lado do núcleo. Os principais requisitos para a nova rede de acesso são a alta eficiência espectral, as altas taxas de dados, o curto tempo de Atraso e a flexibilidade na frequência e na largura de banda

#### 2.2.1 Arquitetura

A arquitetura geral da rede LTE, consistindo de a interface aérea referida como a evolução terrestre universal rede de acesso por rádio (E-UTRAN)<sup>1</sup> e o pacote evoluído núcleo (EPC) é ilustrado na Figura 1. O EPC fornece um quadro para uma evolução ou migração do sistema 3GPP para uma maior taxa de dados, menor latência, otimizado por pacote e um sistema que suporta várias outras tecnologias de acesso de rádio. Uma característica importante do EPC

<sup>1</sup> E-UTRA(N) - Overall description (Release 8) - <<https://www.3gpp.org/DynaReport/36300.html>>

é que não utiliza comutação de circuitos, portanto, para o serviço de voz tradicional, o EPC define uma interface com um centro de comutação móvel para permitir a conversão entre pacotes comutados e tráfego comutado por circuito (KU; WALSH, 2015).



**Figura 1 – EPC e E-UTRAN LTE**

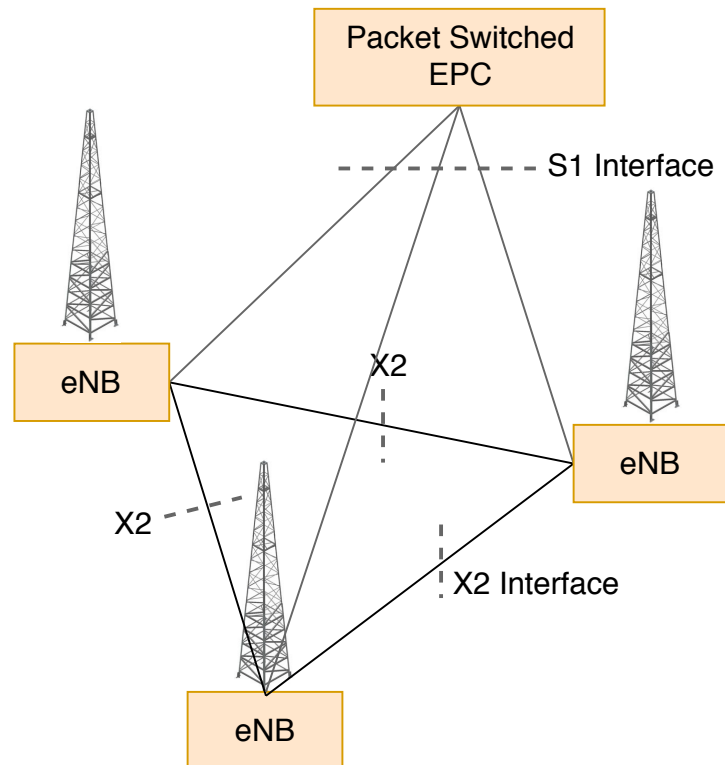
Fonte: (KU; WALSH, 2015)

De acordo com essa transição para uma arquitetura completamente comutada por pacotes, o 3GPP suporta Rede IP (AIPN - *All IP Based Network*) para serviços LTE através da E-UTRAN e EPC. Esta transição para um AIPN reduz significativamente custo de rede e ajuda a lidar com o rápido crescimento da Internet tráfego de dados de protocolo IP. No limite entre o EPC backbone do LTE e da rádio “interface aérea”, encontra-se o Nó evoluído B (eNB - *Evolved Node B*), que é um nó lógico para a transmissão de rádio para o equipamento do usuário (UE - *Equipment of User*), que é o que LTE chama telefones celulares.

Naturalmente, os deveres de administrar a rede são divididos entre o eNB e o EPC. O eNB cobre o recurso de rádio funções de gestão, incluindo a programação da utilização de os recursos de frequência de tempo e de fazer o necessário medições para mobilidade e programação.

Na rede LTE as estações base geram uma arquitetura plana na Figura 2 onde não há um controlador inteligente centralizado, e os eNBs são normalmente interconectados via interface X2 e em direção à rede central pela interface S1.

A razão para distribuir a inteligência entre as estações de base em LTE é acelerar a configuração da conexão e reduzir o tempo necessário para uma entrega dos dados aos clientes. Para um usuário final, o tempo de configuração da conexão para uma seção de dados em tempo real é, em muitos casos, crucial, especialmente em jogos *on-line*. O tempo para uma entrega é essencial para serviços em tempo real em que os usuários finais tendem a encerrar chamadas se a entrega demorar muito (3GPP, 2018).



**Figura 2 – Arquitetura tecnologia LTE**

Fonte: o Autor

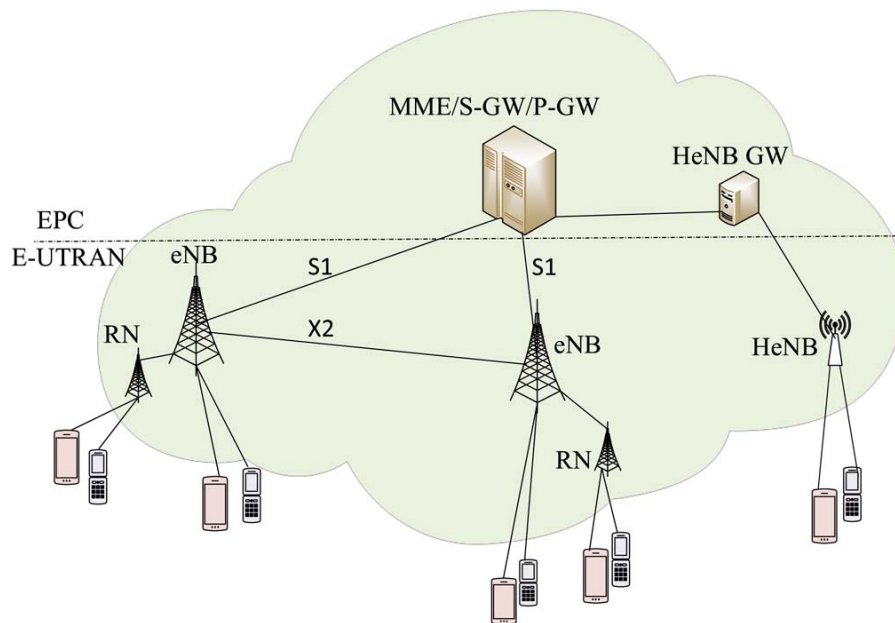
### 2.2.2 LTE-A

A partir dos avanços tecnológicos a 3GPP desenvolveu o LTE-A (*Long Term Evolution - Advanced*) na *Release 10* do LTE. Com o foco na maior capacidade de tráfego e fornecendo taxas de bits mais altas de uma maneira econômica e, ao mesmo tempo, cumprir completamente os requisitos estabelecidos pela ITU para a IMT Avançado, também conhecido como 4G. As principais novas funcionalidades introduzidas no LTE-A foram o Agregação Portadora CA, uso aprimorado de técnicas de múltiplas antenas e suporte para nós retransmissores (RN).

A LTE *Release 10* (LTE-Advanced) foi a candidata da 3GPP para o IMT-Advanced, e foi aceita como uma tecnologia 4G na reunião de Chongqing do ITU-R no *Working Party 5D*, tendo concluído com sucesso etapas 4 a 7 do processo de avaliação do ITU-R, cumprindo ou excedendo os critérios estabelecidos em todos os aspectos (3GPP, 2010).

A arquitetura do A E-UTRAN para LTE-A é mostrada na Figura 3. Como mencionado anteriormente, uma rede LTE-A compreende duas partes, ou seja, o EPC e RAN, onde o primeiro é conhecido como CN, e o último consiste de estações base (BSs - *Stations Base*) que são referidas como evoluídas estações base de nós eNBs. O EPC é responsável por controle geral de dispositivos móveis e estabelecimento da rede de fluxos de pacotes do protocolo IP (*Internet Protocol*).

O eNB é responsável pela comunicações *wireless* e acesso via rádio, fornecendo uma interface aérea com as terminações do protocolo do plano do usuário e do plano de controle os



**Figura 3 – Arquitetura a tecnologia LTE-A**

Fonte: (GHAVIMI; CHEN, 2015)

dispositivos UE e M2M (*Machine to Machine*). Cada um dos eNBs serve um, ou várias células E-UTRAN, e a interface interligando os eNBs é chamada de interface X2. Além disso, o eNB está conectado ao EPC através da interface S1.

Além disso, o LTE-A engloba nós de relés e retransmissão sofisticadas estratégias para o aumento do desempenho da rede. Esta nova tecnologia oferece grande cobertura, alta taxa de dados, e melhor desempenho e justiça de QoS para diferentes usuários (GHAVIMI; CHEN, 2015). De acordo com (ASHRAF, 2010) a convergência de Redes Móveis Celulares e WLANs (*Wireless Local Access Network*) oferece benefícios para as operadoras, como larguras de banda mais altas, menor custo de redes e equipamentos, o uso de espectro isento de licença, maior capacidade e aprimoramento de QoS além de maior receita. E para os usuários, oferece acesso a serviços de multimídia de banda larga com menor custo de *roaming*<sup>2</sup> entre duas redes.

## 2.3 IEEE 802.11

As redes locais sem fio WLANs tornaram-se um parte integrante do mundo moderno, uma vez que fornece uma flexibilidade e plataforma econômica para comunicação de curta e média distância. O Wi-Fi é definido pelo padrão IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11. Que inclui uma família de padrões para sistemas sem fio que operam em várias bandas de frequência.

<sup>2</sup> Roaming é um termo de telecomunicação sem fio usado normalmente com dispositivos móveis. Refere-se ao telefone celular que está sendo usado fora do alcance de sua rede doméstica e se conecta a outra rede celular disponível

As redes sem fio do padrão IEEE 802.11 operam em dois modos; infraestruturado e sem infraestrutura, este último conhecido como modo Ad hoc. No modo de infraestruturado, BSS (*Basic Service Set*) ou estações bases dentro de um grupo de comunicam diretamente com o ponto de acesso afirma (GAWAS; TAMBI, 2017), o ponto de acesso encaminha as mensagens para o destino desejado ou para outro ponto de acesso. Os autores (KHURANA et al., 1999) afirmam que para as redes ad-hoc as estações operam em um nível Ponta à Ponta (P2P - *Peer to Peer*) sem sistema de distribuição de pontos de acesso.

A transferência de informações baseadas em dispositivos com transmissores *wireless* de padrão IEEE 802.11(a, b, g, n, ac, etc) são indispensáveis hoje. De acordo com os autores (URYVSKY; MOSHYNSKA; OSYPCHUK, 2017) estas redes ocuparam com confiança o nicho das redes de WLANs e continuam se desenvolvendo na direção de expandir sua presença na moderna infraestrutura de telecomunicações e buscam melhorar as normas em termos de competitividade, principalmente os mecanismos para aumentar a taxa de dados.

### 2.3.1 Arquitetura

O padrão IEEE 802.11 define especificamente o seu protocolo em duas camadas, a Camada Física (PHY - *Physical Layer*) e a Camada MAC. Camada física da pilha de protocolos 802.11 está associada à primeira camada do modelo OSI definido em (KUROSE; ROSS, 2007). O padrão IEEE 802.11 usa vários modulação e codificação esquemas na camada física como DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), FHSS (*Frequency-hopping spread spectrum*), OFDM(*Orthogonal frequency-division multiplexing*) e HR-DSSS (*High Rate DSSS*).

A camada MAC (*Media Access Control*) usada pelo A família 802.11 é responsável pelo protocolo de transmissão. Ele usa o CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) com o CA (*Collision Avoidance*) para organizar transmissões entre nós operando no mesmo BSS. A camada MAC também inclui um protocolo de troca de quadros que consiste em um sequência de quadros, um quadro de dados de encaminhamento e um quadro de retorno para confirmação.

Se a fonte da transmissão não receber um quadro ACK (*Acknowledgement*) dentro de uma quantidade predeterminada de tempo, o quadro é considerado perdido e retransmitido com base em instruções fornecidas pelo hardware sem fio ou pelo *driver*. Em (GAWAS; TAMBI, 2017) é demonstrado que Camada MAC é responsável pela mídia confiável de entrega de dados Segurança de acesso .

### 2.3.2 Wi-Fi - *Direct*

Mais de uma década após seu projeto inicial, o Padrão IEEE 802.11 (COMMITTEE et al., 1999), tornou-se um dos as formas mais comuns de acessar a Internet. No entanto, para continuar com o seu sucesso marcante a tecnologia Wi-Fi precisa evoluir e abraçar um conjunto maior de casos de uso, para isso foi desenvolvido Wi-Fi *Direct*.

O Wi-Fi *Direct* é uma tecnologia definida por pela *Alliance*<sup>3</sup> destinada a melhorar a dispositivo para comunicações do dispositivo em Wi-Fi. Portanto, dada a ampla base de dispositivos com capacidade Wi-Fi habilidades, e o fato de que pode ser inteiramente implementados em software através de rádios tradicionais Wi-Fi, diversos trabalhos acadêmicos estudam e utilizam desta tecnologia (CAMPS-MUR; GARCIA-SAAVEDRA; SERRANO, 2013; ALLIANCE, 2009)

Considerando a ampla adoção de Wi-Fi em muitos tipos de dispositivos, um caminho natural para a tecnologia progredir é conectividade de dispositivo para dispositivo de destino, ou seja, sem exigir a presença de um ponto de acesso (AP) central, definido por (JAIN, 2018), tradicionalmente fornecido por outras tecnologias (LEE; SU; SHEN, 2007), este é o objetivo da tecnologia Wi-Fi Direct.

Conectividade direta de dispositivo a dispositivo já é possível no IEEE 802.11 original por meio do modo *Ad hoc* de operação. No entanto, isso nunca se tornou amplamente implantado no mercado e, portanto, apresenta vários inconvenientes quando se enfrenta os requisitos atuais, por exemplo, a falta de suporte eficiente de economia de energia ou capacidades estendidas de QoS.

A conectividade dispositivo a dispositivo do *Wifi-Direct* consiste em um proprietário do grupo (GO) e vários clientes do grupo (GCs). Além disso, é capaz para operar um modo simultâneo que permite que os dispositivos mantenham conexões simultâneas para diferentes redes Wi-Fi Direct e herdando todo o QoS aprimorado e o modo de mecanismos de economia de energia (JUNG; AHN; KO, 2014a).

Sendo assim, a tecnologia Wi-Fi *Direct* apresentada nesta seção é considerada muito promissora para o escoamento de tráfego. Isto ocorre devido a esta tecnologia possuir uma alta flexibilidade na criação de redes locais, o que é fundamental para cenários que o escoamento de dados móveis utilizam.

## 2.4 Escoamento de Dados Móveis

Um dos desafios mais envolventes para dispositivos móveis operadores hoje é como gerenciar o tráfego de dados que aumenta exponencialmente. O escoamento de dados móveis se destaca como promissora e solução de baixo custo para reduzir a carga na rede celular afirma (DINH et al., 2013).

O escoamento de dados móveis é uma abordagem intuitiva utilizada para alavancar a largura de banda não utilizada em diferentes tecnologias *wireless*. Os autores (REBECCHI et al., 2015) consideram o escoamento de dados móveis como o uso de uma tecnologia sem fio complementar para transferir dados originalmente voltado para o fluxo através da rede celular, a

<sup>3</sup> *Alliance* - <<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct>>

fim de melhorar alguns indicadores chave de desempenho.

Embora o escoamento possa se aplicar a qualquer rede, as pesquisas relacionadas na academia e na indústria apresentam maior preocupação com relação ao escoamento dados de redes celulares já que esses são os tipos de redes que mais se beneficiam com essa técnica, de acordo com (ZHANG et al., 2015). A Interoperação rede celular e Wi-Fi, onde os usuários têm acesso às interfaces sem fio LTE e Wi-Fi, otimiza o balanceamento de carga de tráfego entre o duas redes no modo de rádio único ou modo *multi-homing*. (ISMAIL; ABDRABOU; ZHUANG, 2013).

Além do benefício de aliviar a carga da rede de infraestrutura, transferindo dados para a tecnologia sem fio complementar, leva-se uma série de outras melhorias, incluindo: o aumento da taxa de transferência geral, a redução do tempo de entrega de conteúdo, a extensão de cobertura da rede, o aumento da disponibilidade da rede e melhor eficiência energética.

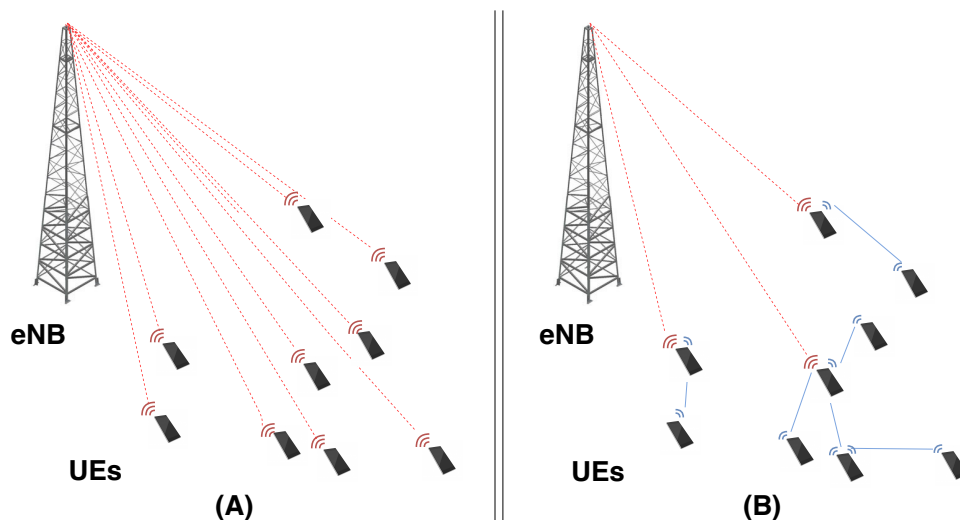


Figura 4 – Modelos de Escoamento de Dados Móveis

Na Figura 4 são descritos as duas principais abordagens para escoar dados de redes celulares assim como o modo convencional de transmissão apresentado na Figura 4 (a). A crescente popularidade dos dispositivos móveis inteligentes fornecem várias opções alternativas de comunicação e tornam possível a implementação uma rede terminal a terminal (T2T - *Terminal to Terminal* que depende diretamente da comunicação entre usuários móveis, sem qualquer necessidade de um *backbone* de infraestrutura da Figura 4 (b). Esta inovadora abordagem tem propriedades intrínsecas que podem ser empregadas tráfego de fluxo conforme afirma os autores (KOROWAJCZUK, 2011).

Apesar do escoamento de dados ser uma técnica muito promissora para melhoria de tráfego, esta técnica apresenta um desafio, a seleção de usuários ou dispositivos ideais para retransmitir os dados recebidos de uma estação base ou nó origem. A partir disso a seção 2.5 apresenta a utilização de algoritmos de seleção de retransmissores para o escoamento de tráfego.

## 2.5 Algoritmos de Seleção de Nós Retransmissores

A seleção de retransmissão é uma questão importante para melhorar o desempenho do sistema de escoamento de dados. Determinar qual dos potenciais retransmissores deve ser selecionado é um problema abordado pela comunidade científica. Por exemplo, os autores (BOUALLEGUE; SETHOM, 2016) avaliam que um nó de retransmissão pode ter um canal forte para o destino, mas também pode estar sobrecarregado com tráfego de outras fontes. Além disso, os retransmissores geralmente são alimentados por bateria, e um retransmissor em potencial pode precisar entrar em um ciclo de sono para economizar energia. Já em (ADAM; BETTSTETTER; SENOUCI, 2008), a seleção de retransmissores define o nó “mais adequado” para atuar como retransmissor. O processo de seleção operaria de maneira abrangente introduzir apenas uma sobrecarga aceitável em termos de complexidade de mensagens e atraso.

Atualmente, vários fóruns de padronização, órgãos e consórcios têm trabalhado em arquiteturas baseadas em retransmissores em cenários que vão de redes locais sem fio WLAN descrito em (BLETSAS; SHIN; WIN, 2007; ZHOU et al., 2007) às redes celulares de área ampla, como em (VISWANATHAN; MUKHERJEE, 2005; KANEKO; POPOVSKI; HAYASHI, 2009).

Os autores (SHAH, 2012) definem que a seleção do retransmissor pode ser classificada em três tipos: a Seleção de grupo, onde a seleção do retransmissor ocorre antes da transmissão. O objetivo deste tipo de seleção é atingir determinado nível de desempenho predefinido. Na seleção proativa, a seleção do retransmissor é realizada pela fonte, pelo destino ou pelo próprio retransmissor durante o tempo de transmissão. E na seleção sob demanda, a seleção do retransmissor é realizada quando necessário, ou seja, quando as condições diretas do canal diminuem abaixo de um limiar pré-definido.

As abordagens de seleção baseadas no desempenho dependem critérios de desempenho como atraso e energia eficiência para selecionar o relé mais adequado (JING; JAFARKHANI, 2009). Os autores (REGE; ABDULLAH, 2016) definem que a operação de seleção baseada em desempenho ocorre da seguinte forma: Numa primeira fase, as fontes, estação base ou AP, transmitem o nível de desempenho exigido e, em seguida todos os potenciais retransmissores estimam sua condições do canal, bem como nível de desempenho. No entanto, a sobrecarga de estimativa pode trazer limitações às abordagens baseadas no desempenho e a transmissão ainda pode ocorrer através do link direto se as condições de desempenho não forem cumpridas.

### 2.5.1 Agrupamento

Algoritmos de agrupamento particionam dados em um determinado número de agrupamentos ou *cluster* (grupos, subconjuntos ou categorias). Não existe uma definição universal para *cluster* afirma os autores (EVERITT SABINE LANDAU, 2011). A maioria dos pesquisadores descreve um *cluster* considerando a homogeneidade interna e a separação externa (JAIN; DUBES, 1988; HANSEN; JAUMARD, 1997; GOWER, 1971). Tanto a semelhança como a

dissimilaridade devem ser examináveis de maneira clara e significativa afirma os autores (XU; WUNSCH, 2005).

A clusterização busca alcançar um agrupamento estável e para os autores (VODOPIVEC; BEŠTER; KOS, 2012; ALMHEIRI; ALQAMZI, 2015), o agrupamento ideal é aquele que não muda seu *cluster* principal (CH - (*Cluster Head* com muita frequência, mesmo com a mudança frequente da topologia da rede).

O algoritmo de agrupamento pode ser definido em diversas formas, uma delas é construir o agrupamento de acordo com o grau é apresentado pelos usuários em (GERLA; TSAI, 1995). O grau de um nó é calculado com base em sua distância entre os outros nós. Neste contexto o nó com o número máximo de vizinhos é escolhido como um *cluster*. A principal vantagem deste tipo de algoritmo é o fato de que o CH, não é frequentemente alterado. Porém este algoritmo não especifica um determinado número de nós em cada *cluster*. Em outras palavras, não há limitações no tamanho do agrupamento, o que resulta na diminuição da taxa de transferência do agrupamento.

Outro método de agrupamento é baseado no algoritmo *k-means*. No trabalho dos autores (LIU; XIONG, 2011) é definido o objetivo do algoritmo, que de acordo com os autores é baseado na entrada parâmetros, onde o conjunto de dados é dividido em *k clusters*. O algoritmo usa o método de atualização iterativa, em cada rodada, com base no ponto *k* de pontos de referência foram agrupados em torno de *k clusters*, o *cluster* centroide será utilizado como ponto de referência na próxima rodada de iteração. A iteração aproxima o ponto de referência centroide e o cluster real, então o efeito de agrupamento está ficando melhor torna-se mais eficiente.

O autor (LIU, 2007) afirmam que o método *k-means* possui as seguintes vantagens: tem boa geometria e significância estatística no atributo numérico; ser menos sensível ao pedido; tem um bom efeito sobre o convexo grupo; pode correr em paralelo; pode transportar o *cluster* de forma aleatória.

Entretanto as suas desvantagens são a necessidade da definição antecipada do número de *clusters*; ser incapaz de processar dados de atributos categóricos; ser sensível ao ponto isolado; acerta na solução ideal local frequentemente, mas é incapaz de obter a otimização de uma solução global; ser vulnerável à interferência de pontos anormais; falta de escalabilidade; os resultados de agrupamento são às vezes desequilibrados.

### 2.5.2 Inundação

De acordo com (TANENBAUM, 2011) a inundação é uma técnica local simples em que cada pacote de entrada é enviado em todas as linhas de saída, exceto na linha pela quem chegou. Esta técnica também garante que todos os nós vizinhos recebam a mensagem que foi enviada. No entanto, se a mensagem foi designada a um único nó este método pode causar um considerável desperdício.

O autor (VADIVEL; NARASIMHAN, 2014) define o algoritmo de inundação em duas fases: a fase de remetente e do receptor. A fase de remetente ajuda um nó a selecionar um subconjunto de seus vizinhos para encaminhar mensagem de inundação, seleciona o encaminhamento nós a partir dos critérios definidos pelo cenário para a disseminação mensagem de inundação. A fase do receptor complementa o algoritmo de fase de remetente, permitindo o esquema de inundação garantindo confiabilidade.

Inundações são indispensáveis e comumente usadas em Redes Móveis *Ad Hoc* para um nó para transmitir uma mensagem para todos os outros nós móveis da rede afirma (GUPTA; MATHUR, 2014). Em cenários de inundações há alta probabilidade da ocorrência de problemas de tempestade de transmissão. Apesar disso muitos protocolos de roteamento MANET (*Mobile Ad hoc Network*, como AOD (*On-Demand Distance Vector Routing*) (ROYER; PERKINS, 1999), DSR(*Dynamic Source Routing*) (JOHNSON; MALTZ, 1996) e ODMRP (*On-Demand Multicast Routing Protocol*) (LEE; SU; GERLA, 2002), usam operações de inundação para descobrir rotas, manter rotas e atualizar topologias.

Portanto, a inundação é uma solução bastante utilizada pela academia devido sua capacidade de encaminhamento e descoberta devido à sua simplicidade e eficiência. No entanto, sofre de baixa eficiência energética e escalabilidade como mostra o trabalho de (GUPTA; MATHUR, 2014). Por isso, não é adequado para usar em redes de larga escala. Muitos trabalhos de pesquisa são propostos para melhorar a eficiência energética das inundações, tal como (YAN et al., 2016).

### 2.5.3 Aleatório

Números aleatórios reais são completamente imprevisíveis e eles são impossíveis de obter dois números aleatórios idênticos em sequências de qualquer caso. Mas a taxa de geração do real número aleatório é baixo, e é difícil perceber na física. Quanto ao número pseudo-aleatório, uma vez que a semente inicial é determinada, a sequência de números é determinada. transformação inversa, composição, aceitação / rejeição e propriedades especiais tais conceitos que mudaram pouco desde que foi estudada pela primeira vez. (BUTLER, 1970), por exemplo, discute esses conceitos. (KENNEDY WILLIAM J.; GENTLE, 1980) discutem conceitos básicos e algoritmos de geração de valores aleatórios e fornecem uma extensa bibliografia clássica.

Normalmente, o valor inicial é incerto e o método matemático produz números rápidos e têm melhores desempenhos em termos de uniformidade e assim por diante. O algoritmo de congruência linear é comumente usado para geradores de números pseudo aleatórios na atualidade (ZHU; HUAI; CUI, 2017). As sequências numéricas aleatórias gerado por ele são longa periodicidade e boa aleatoriedade (TAN; MA; XING, 2009), e a congruência linear é dividida em congruência multiplicativa e congruência mista (FENG-GAO, 2009).

A geração de valor aleatório é apresentada pelas Equações 2.1 e 2.2:

$$x_{n+1} = a * x_i * |p| \quad (2.1)$$

$$x_i = a_i * x_0 * |p| \quad (2.2)$$

Na Equação 2.1  $x_0$  é o valor inicial. E  $p$  é um numero primo, pode-se produzir sequências de aparência bastante aleatórias. E determina-se  $x_i$  para todo  $i$  sem recursão desvendando a relação recursiva para obter a Equação 2.2.

Números aleatórios encontram sua utilidade em domínios que têm um papel significativo, às vezes até crítico ou obter alguns resultados imprevisíveis: Simulações baseadas em Métodos de Monte Carlo, simulações de modelagem matemática simulações, estatísticas, geração de números primos, criptografia, comunicação de espectro espalhada, jogos, etc. (GERGELY; CRAINICU, 2017)

## 2.6 Modelos Analíticos

Os métodos analíticos consideram critérios, elencados pelo tomador de decisão, que vão auxiliar no processo. Na literatura especializada, o assunto é abordado por MCDM (*Multiple Criteria Decison Making*) ou então MCDA (*Multiple Criteria Decision Aid*). Existem duas correntes de abordagem do tema: a Americana e a Europeia.

Na escola Americana os métodos de critério único de síntese assumem que as preferências do decisor<sup>4</sup> podem ser representadas por uma função de utilidade ou de valor. Estas devem ser avaliadas pelo analista através do uso de modelos aditivos, multiplicativos, entre outros. Esses métodos adotam o princípio da transitividade e não admitem a incompatibilidade das ações potenciais. Consideram, em geral, somente as situações de preferência e indiferença, o que resulta em ordenamentos totais das alternativas.

Já na escola Europeia, têm-se os métodos *outranking*. A relação *outranking* é definida por (ROY, 1990) como sendo binária. Ela compara os argumentos prós e contras à hipótese de que uma ação ou alternativa  $a$  é no mínimo tão boa quanto a ação  $b$ . Isso equivale dizer que  $a$  é "não pior que"  $b$ .

A corrente Norte-Americana é representada por diversos métodos, tais como: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) e TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*); já a Escola Européia conta com uma gama maior de métodos de decisão multicritérios,

<sup>4</sup> O termo decisor se refere a um único indivíduo, vários indivíduos ou entidades que, para um determinado problema em análise, possuam os mesmos sistemas de valores, os mesmos sistemas de informações, os mesmos interesses e aspirações, assumindo os resultados da decisão geral.

tais como: ELECTRE(*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) e PROMÉTHEE(*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*).

Neste trabalho serão detalhados os métodos AHP e TOPSIS, sendo que, estes métodos ajudaram no desenvolvimento da estratégia de tomada de decisão. A escolha destes métodos foi motivada pela difusão desses métodos em diversas áreas de pesquisa, conforme será relatado no Capítulo 2; a facilidade de implementação, que ajudam no processo de consolidação do método; expertise do grupo de pesquisa; e os bons resultados alcançados nos testes de desempenho

### 2.6.1 AHP

O método de processo analítico hierárquico foi proposto na década de 70 por (THOMAS, 2001), do departamento de defesa dos Estados Unidos, e trata-se de uma técnica de tomada de decisão com múltiplos critérios, em que um problema complexo possui uma hierarquia de solução a partir das variáveis utilizadas nessa solução.

De forma mais específica, o AHP é um método de análise multicritério baseado em um processo de ponderação ativa, no qual os diversos atributos relevantes são representados através de sua importância relativa. Este método tem sido extensivamente aplicado por acadêmicos e profissionais, principalmente em aplicações que envolvem decisões financeiras associadas a atributos não financeiros (THOMAS, 2001).

Segundo (CHEN, 2010), o AHP é um método simples e confiável que permite a utilização de dados qualitativos e/ou quantitativos mensuráveis, sendo estes tangíveis ou intangíveis na análise de critérios e tem sido mundialmente utilizado para auxiliar os processos de decisão considerando as mais diversas finalidades.

O AHP identifica a melhor opção dentro das alternativas possíveis e ajuda na determinação de prioridades através da redução de decisões complexas a decisão comparativa par a par, sendo dividido em: estruturação, julgamentos e síntese dos resultados. O tomador de decisões, para aplicar o método, define o objetivo geral e, assim, seleciona os atributos para alcançar a meta. Os elementos deverão estar estruturados hierarquicamente, ou seja, em níveis de decisão.

Comparado a uma árvore, à medida que se afasta do objetivo, temos fatores mais específicos e os mais extremos (as folhas), representam os fatores ou critérios de avaliação. Assim, quanto mais genéricos forem os atributos, mais altos deverão estar na hierarquia.

As alternativas ficam na base da árvore, abaixo do último nível de atributos. Esse arranjo permite fazer com que seja possível para o tomador de decisão focalizar cada parte e todo o complexo problema, com isso obter prioridades através de uma simples comparação par a par baseada nos dados obtidos pelo usuário.

O grande diferencial do método AHP é permitir que o usuário defina pesos relativos para múltiplos critérios ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao

mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, com os conhecimentos e a experiência dos especialistas da área, pode-se reconhecer qual dos critérios é mais importante (SAATY, 1991)..

Para aplicação do método AHP, deve-se, primeiramente, definir os critérios que serão comparados para auxiliar na escolha das alternativas. Com os critérios definidos, é montada a matriz de prioridades de critérios (ou comparação de critérios), tendo como base a regra sugerida por (SAATY, 1991): preenche-se a matriz comparando-se os critérios que aparecem na coluna da esquerda em relação às características que aparecem na linha superior.

Por simplificação, serão chamados os critérios de C1 e C2, portanto, se os critérios a serem comparados, C1 e C2, forem iguais em importância, coloca-se o valor 1; se C1 for um pouco mais importante do que C2, colocar-se o valor 3; se C1 for muito mais importante do que C2, coloca-se o valor 5; se C1 for claramente ou muito fortemente mais importante do que C2, coloca-se o valor 7; se C1 for absolutamente mais importante do que C2, coloca-se o valor 9. Qualquer relação entre os critérios C1 e C2 intermediária às relações de importância apresentadas, deve ser dado o valor intermediário correspondente, conforme 1.

**Tabela 1 – Escala Fundamental de Saaty**

Fonte: (SAATY, 1991)

Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Atividades contribuem igualmente para objetivo
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento favorecem, levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Reciprocidade dos valores	Se a atividade <i>i</i> recebe uma das designações diferentes de zero quando comparada com a atividade <i>j</i> tem o valor recíproco quando comparada com <i>i</i> .	Uma designação razoável

Um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio, isto é, onde a linha 1 encontra a coluna 1, na posição (1,1), coloca-se 1. Logo, a diagonal principal de uma matriz deve consistir em 1. Se os valores são obtidos comparando-se C1 com C2, quando há a comparação de C1 com C2 na matriz os valores são, portanto, os recíprocos apropriados 1, 1/3, ..., ou 1/9 (SAATY, 1991).

A 2 apresenta um modelo de matriz de prioridades para facilitar a apresentação de como é realizada a comparação entre os critérios.

A alteração dos pesos de cada critério é realizada dividindo os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização) e posteriormente somando os elementos em cada linha resultante e dividindo esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1991).

Para verificar a consistência da matriz de prioridades dos critérios, se multiplica a

**Tabela 2 – Modelo de Matriz de Prioridade de Critérios**

Fonte: (SAATY, 1991)

Critérios	C1	C2	C3	C4
C1	1			
C2		1		
C3			1	
C4				1
Soma				

mesma pelo vetor peso e se obtém a matriz de consistência (SAATY, 1991), com os elementos  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  e  $w_4$ .

O Resultado da Consistência ( $RC$ ) Equação 2.4 é determinado através da divisão do Índice de Consistência ( $CI$ ) pelo índice  $RI$  Equação 2.3.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.3)$$

$$RC = CI/RI \quad (2.4)$$

Onde  $RI$  é um índice tabelado em função de  $n$  (número de critérios), conforme a Tabela 3. O  $\lambda_{max}$  é um índice que relaciona os critérios da matriz de consistência e os pesos dos critérios. A Equação 2.5 apresenta o cálculo do  $\lambda_{max}$ .

**Tabela 3 – Valores de  $RI$  para Matrizes Quadradas de Ordem  $n$** 

Fonte: (SAATY, 1991)

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n * \sum \frac{C_i}{W_c}} \quad (2.5)$$

Onde:

- $C_i$  é um critério da matriz de consistência;
- $W_c$  é o peso do critério;
- $n$  é número de critérios;

Se  $RC$  for  $\leq 0,1$ , o grau de consistência é satisfatório, mas se  $RC$  for  $\geq 0,1$  podem existir problemas de inconsistência e o método AHP não deverá ser utilizado (SAATY, 1991).

As matrizes de prioridade para os processos são determinadas da mesma maneira que a matriz de prioridade dos critérios foi determinada.

Os scores dos processos para cada critério, após a construção das matrizes de priorização para os processos, são determinados dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização). Determina-se o escore total dos processos, com os escores para cada critério, multiplicando o escore médio dos critérios pelo peso de cada critério.

A utilização do AHP vem se consolidando, contudo, este tipo de método apresenta atribuições de valores binários, baseados em conhecimento a fundo de quem realiza as ponderações, o que gera certas alterações na literatura, por permitir diferentes atribuições no mesmo método. Contrapondo essa ideia, outro método de tomada de decisão que se baseia no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a menor distância euclidiana da solução ideal positiva e a maior distância geométrica a partir da solução negativa ideal é o TOPSIS, que será abordado a seguir.

## 2.6.2 TOPSIS

O método TOPSIS, cujo desenvolvimento se deve a (TZENG; HUANG, 1981) é um MCDM cujo uso apresenta alguns apelos como simplicidade (entenda como facilidade de aplicação) e o modo como aborda um problema de decisão, comparando duas situações hipotéticas: ideal e indesejável.

A aplicação do método está baseada em duas matrizes: a primeira é a matriz de decisão [A] com os atributos  $x$  e critérios  $j$ ; dados brutos são normalizados e se constituem em uma segunda matriz [R]. A normalização pode ser feita por vários critérios, destacando-se a normalização linear e a por vetor, afirmam (JANIC; REGGIANI, 2002).

A normalização linear é um procedimento resultante da divisão da avaliação dada a um atributo  $x$  qualquer pelo máximo valor atribuído ao mesmo atributo. O cálculo é efetuado pela Equação 2.6.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} \quad i = 1 \dots m; \quad j = 1 \dots n \quad (2.6)$$

A normalização por vetor é feita pela divisão de cada atributo  $x$  por um modelo, obtendo-se o valor normalizado  $r$  para cada um deles por meio da Equação 2.7

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1 \dots m; \quad j = 1 \dots n \quad (2.7)$$

A próxima etapa é a ponderação dos atributos obtida pela multiplicação dos mesmos pela ponderação atribuída pelo avaliador e a determinação do maior valor (situação ideal, positiva) para cada um dos itens avaliados (coluna), que pode ser representada pelo símbolo  $A+$  ou  $A^*$ . O mesmo procedimento é adotado para a escolha do menor valor (situação não ideal, negativa), representada por  $A-$ .

Com a definição dos valores de  $A+$  e  $A-$ , o próximo passo é calcular o desvio em relação

a cada valor atribuído e somá-los, de acordo com as equações 2.8 e 2.9.

$$S_i^+ = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{y=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}} \quad (2.8)$$

$$S_i^- = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{y=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}} \quad (2.9)$$

Finalmente chega-se ao resultado da aproximação às situações positivas e negativas, com o emprego da equação 2.10.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (2.10)$$

A fase final é a ordenação decrescente dos valores de  $C^+$  e a avaliação do que (JANIC; REGGIANI, 2002) denominam de curva de indiferença. A função do TOPSIS pode ser igualada a  $C$ , como mostrado, na equação 2.11.

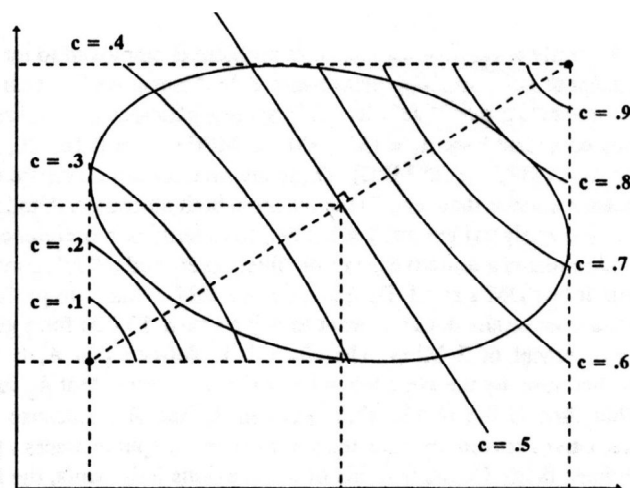
$$C^+ = \frac{S^-}{(S_i^+ + S_i^-)} = c \quad (2.11)$$

A equação acima também pode ser representada pela equação 2.12.

$$cS^+ - (1 - c)S^- = 0 \quad (2.12)$$

Na expressão demonstrada acima é indicado a variação de uma hipérbole quando a diferença entre dois desvios (distâncias entre positivo/negativo) de dois pontos fixos é zero. Na Figura 5 os autores (TZENG; HUANG, 1981) mostram que as curvas com  $c \leq 0,5$  são “convexas em relação à preferência de origem (positiva, situação ideal), que indica a propriedade de diminuição da taxa marginal de substituição observada na maioria das curvas de indiferença” (p. 45). Ao contrário, curvas de indiferença com  $c \leq 0,5$  são côncavas em relação à preferência original.

Esse é um caso pouco comum em termos de escolha porque pode ser visto como uma assunção de risco resultante de uma situação pessimista. Se alguém escolhe uma alternativa próxima do não ideal, possivelmente faz isso porque prefere escolher uma alternativa com o pior e o melhor atributo do que outra com dois atributos ruins argumentam os autores. Com base nesse exemplo, é possível assumir que um decisor poderia, sob risco, escolher construir uma rodovia que vai gerar muitos empreendimentos ao longo de sua faixa (próximo à situação ideal) e grande impacto ambiental (próximo à situação não ideal) do que outra que será apenas um corredor para escoamento de commodities (próximo à situação não ideal) e que também terá grande impacto ambiental.



**Figura 5 – Curvas de Indiferença no TOPSIS**

Fonte: (TZENG; HUANG, 1981)

## 2.7 Simulador NS-3

O *Network Simulator 3* (NS3)<sup>5</sup> é um simulador de redes de eventos discretos que possui módulos de rede detalhada e protocolos de roteamento, é uma simulação real para aplicação subsequente em engenharia e sua simulação os resultados estão próximos do projeto real. Portanto é utilizado demasiadamente pela academia, para pesquisas e comprovação de novas propostas, e pela indústria, para planejamento desenvolvimento de arquiteturas de rede. O NS3 é arquitetado em módulos e foi desenvolvido na linguagem C++, possui código aberto, ou seja, é um ambiente livre para que pesquisadores contribuam e compartilhem o projeto.

O projeto NS3 iniciou em 2006 e desde este período foi contemplado com várias atualizações com novos módulos e versões com correções de erros e contribuições de usuários. Além de possuir uma comunidade que compartilha o conhecimento e incentiva novos membros à desenvolver projetos no simulador.

Para o desenvolvimento de projetos no NS3 os usuários necessitam de um conhecimento básico na linguagem C++, dos paradigmas de programação orientada a objetos e de modelos de redes de computadores. Devido a documentação organizada do NS3 e do auxílio obtido por meio das comunidades e grupos de pesquisa<sup>6</sup> tal ferramenta obtendo resultados plausíveis à comunidade acadêmica com a publicação de diversos artigos e trabalhos, validando a eficiência da ferramenta para projetos que envolvam a análise de redes.

<sup>5</sup> Network Simulator 3 - <[ns3.org](http://ns3.org)>

<sup>6</sup> Grupo de Usuários do NS3 - <<https://groups.google.com/forum/ns-3-users>>.

## 2.8 Métricas de QoS

A QoS tem sido bem estudada em áreas de fornecimento de serviços, por exemplo, redes telefônicas e redes de telecomunicações. Mais recentemente, também foi aplicado a mais problemas relacionados à rede sem fio. Nas WLANs, as técnicas baseadas em QoS foram aplicadas com sucesso particularmente para provisionar recursos afirma (KAUR; KAUR; ARORA, 2012).

O desempenho de (GEORGIOS K. TIMOTHEOS, 2011) é examinado no que diz respeito à mobilidade e aos novos usuários que ingressam na rede. O modelo de simulação considera apenas um ponto de acesso WLAN de célula única e uma rede celular sobreposta. Nesse caso, a seleção de rede depende mais de qual rede tem o melhor sinal e menos de outras métricas, como a Taxa de Pacotes Recebidos (PDR - *Packet Delivery Rate*), atraso e taxa de transferência. É viável examinar onde a topologia é mais complicada, e uma decisão deve ser tomada com base em vários fatores.

Os autores (CHALMERS; SLOMAN, 1999) definem os principais parâmetros de QoS - confiabilidade de conexão, largura de banda, latência e jitter são todos afetados pela mobilidade, tanto durante quanto entre conexões. A análise da Qualidade do Serviço foi realizada pelas métricas: Atraso, Jitter, Vazão e Perda de Pacotes. Foi considerado na avaliação a quantidade de usuários alcançados na rede e a quantidade de retransmissores utilizados por cada método implementado.

De acordo com (KUROSE; ROSS, 2007) a vazão é uma métrica de desempenho crítica em redes de computadores. A taxa de transferência pode ser, por exemplo, um grande videoclipe de um ponto para outro em um sistema de compartilhamento de arquivos P2P. O rendimento instantâneo em qualquer instante de tempo é a taxa (em *bits / seg*) na qual um *host* recebe o arquivo. Para uma rede ideal é desejável ter um atraso baixo e uma taxa de transferência instantânea consistentemente acima de algum limite definido pelo tipo de aplicação da rede. Na Equação 2.13 defini-se a fórmula utilizada para determinar a vazão dos cenários propostos.

$$V = \left( \frac{rB * 8}{\Delta_t} \right) \quad (2.13)$$

Onde:

- o  $rB$  é a taxa de Bytes recebidos pelo *host* de destino;
- e  $\Delta_t$  é o tempo de transferência dos pacotes;

Na Equação 2.13, utiliza a taxa de pacotes recebidos e divide-se pelo tempo de transmissão dos dados. Devido o NS3 utilizar da taxa de pacotes recebidos por *Bytes*, é realizada a conversão para bits através da multiplicação pela constante 8. Através deste cálculo foi possível realizar a avaliação da vazão em Kbps nos cenários propostos.

O atraso é o tempo médio que um pacote de dados que leva para chegar ao destino. Isso inclui todos os possíveis atrasos causados pelo *buffer* durante a latência da descoberta de rota, enfileirando-se na fila da interface. Esta métrica é calculada subtraindo o tempo em que o primeiro pacote foi transmitido pela fonte a partir do momento em que o primeiro pacote de dados chegou ao destino. Matematicamente, o atraso fim a fim (E2E - *End to End*) pode ser definido pela Equação 2.14:

$$At = \Delta t_{PR} - \Delta t_{PT} \quad (2.14)$$

Onde:

- o  $t_{PR}$  é o tempo em que um pacote foi recebido pelo destinatário;
- e  $t_{PT}$  é o tempo em que o pacote foi transferido do nó origem;

A organização (CISCO, 2006) define o jitter é como uma variação no atraso dos pacotes recebidos. Isto ocorre devido ao congestionamento da rede, enfileiramento inadequado ou erros de configuração, esse fluxo constante pode se tornar irregular, ou o atraso entre cada pacote pode variar em vez de permanecer constante

Os autores (KUROSE; ROSS, 2007) afirmam que o tratamento do *jitter* o garante que a quantidade de tempo entre a transmissão de dois pacotes sucessivos no remetente seja igual à quantidade de tempo entre o recebimento no destino (ou que esse espaçamento seja alterado por não mais que algum valor especificado). O cálculo do Jitter é definido na Equação 2.15.

$$J_I = \Delta At_i - \Delta At_{i-1} \quad (2.15)$$

Onde:

- o  $At_i$  é o atraso do gerado na transferência de um pacote;
- e  $\Delta_t$  é o tempo de transferência dos pacotes;

Através da subtração de um atraso gerado em uma transferência de pacotes pelo atraso gerado anteriormente na rede apresenta a interferência gerada na rede, esta métrica é importante para verificar a estabilidade da rede.

De acordo com (ROHAL RUCHIKA DAHIYA, 2013) o PDR (*Packet Delivery Rate*) é definido como a razão entre os pacotes de dados recebidos pelo destino em relação aos pacotes que foram enviados pela fonte. Matematicamente, pode ser definida pela Equação 2.16:

$$PDR = \frac{S_R}{S_T} * 100 \quad (2.16)$$

Sendo:

- $S_R$  = é a soma dos pacotes recebidos;
- $S_T$  = a soma dos pacotes transmitido;

Através desta métrica é possível avaliar a capacidade das redes para entrega de dados, fator muito importante para as redes utilizadas neste trabalho.

## 2.9 Conclusões do Capítulo

Este capítulo teve como objetivo apresentar as principais tecnologias e conceitos utilizados na criação e desenvolvimento deste trabalho, apresentando as principais características do escoamento de tráfego e as arquiteturas de redes móveis padronizadas pela 3GPP, a LTE e a LTE-A. Além disso, foi apresentado o padrão Wi-Fi 802.11 e suas classificações, explorando a tecnologia Wi-fi *direct*. Foram abordados também as características dos algoritmos de seleção, de agrupamento, inundação e aleatório, e os modelos analíticos, AHP e TOPSIS, utilizados para tomada de decisão neste trabalho. Por fim são apresentadas as métricas de QoS utilizadas para a validação da proposta deste trabalho.

Com isso, pode-se afirmar que este capítulo é de fundamental importância para o esclarecimento e entendimento da proposta, uma vez que apresenta os principais conceitos e tecnologias associadas. O próximo capítulo apresenta alguns trabalhos correlatos utilizados como base de estudo comparativo para o desenvolvimento deste trabalho, de forma a analisar suas metodologias de tomada de decisão e suas principais vantagens e desvantagens.

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

### 3.1 Considerações Iniciais

Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns trabalhos presentes na literatura, relacionados ao escoamento de tráfego e o uso de métodos de seleção dos retransmissores nesse contexto. Este capítulo descreve as principais características e o funcionamento de cada proposta apresentada nos trabalhos e compara suas vantagens e desvantagens no processo de seleção de Retransmissores para escoamento de tráfego.

### 3.2 Escoamento de tráfego

As redes celulares estão atualmente enfrentando uma severa sobrecarga no tráfego e atualmente diferentes abordagens são estudadas para aliviar este problema. O escoamento de tráfego é uma solução atraente por não exigir grandes modificações na infraestrutura implantada. Porém para isso é fundamental a seleção dos nós seja realizada de forma otimizada, visando aumento da QoS e diminuição da quantidade de nós retransmissores. Em meio a isso algoritmos baseados em critérios pré-definidos podem ser utilizados para determinar os dispositivos retransmissores.

Os autores (RUDENKO et al., 1998) e (SMAILAGIC; ETTUS, 2002) avaliam a eficácia da tecnologia de escoamento através de várias experiências. Os resultados demonstram que a execução do aplicativo remoto pode economizar energia significativamente. Especialmente (RUDENKO et al., 1998) avalia grandezas numéricas em larga escala e mostra que até 45% da energia consumo pode ser reduzido para grandes cálculos matriciais. Além disso, muitos aplicativos móveis vantagens da migração de tarefas e processamento. Por exemplo, baixar uma otimização para processamento de imagens (KREMER; HICKS; REHG, 2001) pode reduzir 41% para o consumo de energia de um dispositivo móvel.

Ainda em relação ao uso de escoamento os autores (A POOMALAI T, 2018) utiliza os usuários de uma estação base para transmitirem conteúdo, por meio de um canal de baixa capacidade, aos seus vizinhos, liberando a transmissão de dados da estação base e expandindo a sua taxa de transmissão. O autor realiza a seleção de retransmissores por meio da avaliação de atributos sociais dos usuários, tais como força do sinal, energia móvel e potência da bateria. O desempenho do nó selecionado foi avaliado pela taxa de transferência, a força de cobertura do retransmissor.

Visto que diversos trabalhos acadêmicos possuem interesse na técnica de escoamento para propor melhoria em vários tipos de aplicação e sistemas. Aprofunda-se o estudo, identificando trabalhos que utilizam os algoritmos de seleção de nós retransmissores na seção 3.2.1.

### 3.2.1 Algoritmos de Seleção

A escolha de usuários por algoritmos de seleção é bastante utilizada pelo meio acadêmico, (DONG; WANG; LU, 2014; XU; LIN, 2006), devido a isso encontram-se diversos trabalhos acadêmicos que utilizam tais algoritmos para a definição de retransmissores em cenários de escoamento de tráfego.

Na avaliação atribuída pelos autores (A POOMALAI T, 2018) cada parâmetro é baseada na diferentes métodos de seleção definidas pelo autor, sendo esses duas estratégias: mundial (Organização por base), onde todos os retransmissores do sistema são primeiramente solicitados pela sua importância definida com base nas propriedades sociais no sistema, e de capa (com base em grupo), essa que depende do instinto de reunião entre os indivíduos, acontecem normalmente em pontos semelhantes. Os resultados obtidos a partir de simulações no NS3 apontam que a proposta dos autores possuiu melhor desempenho em relação aos demais algoritmos implementados nos cenários propostos. No entanto, a proposta apesar de avaliar múltiplos critérios, avalia apenas a potência do sinal e parâmetros de energia do usuários para seleção de retransmissores, desconsiderando fatores primordiais para a qualidade de serviços como Vazão, Atraso e a Perda de Pacotes.

Os autores (ZHOU; GUI; XIONG, 2017) propõem um método para otimização da vazão de *downlink* por *multi-hop* em comunicações Dispositivo para Dispositivo (D2D - *Devive to Device*) alcançadas por retransmissores, o método DTO-MROD, definido pelo autor, adota a pré-seleção de retransmissores para otimizar o *throughput* de *downlink* em um sistema celular. O DTO-MROD tem como aumenta o número de saltos de dois links para três, sendo estes um link de rede celular e dois links D2D, afim de reduzir a taxa de erro por *bit* recebido e, assim, melhorando a taxa de transferência de *downlink* celular.

A proposta dos autores (ZHOU; GUI; XIONG, 2017) seleciona o primeiro retransmissor através da métrica de receita e despesa (RIE) e as respectivas fórmulas de validação, que buscam equilibrar a vida útil da rede e taxa de transferência, o segundo retransmissor deve possuir a energia superior ou igual ao primeiro retransmissor. O esquema DTO-MROD ainda verifica se os relés filtrados melhoram a taxa de transferência da rede ou não. O resultados da simulação revela que o esquema DTO-MROD supera diferentes perspectivas, tal como transferência de *downlink*, atraso, rede vida útil e sobrecarga de comunicação, o algoritmo LIKE-DORE implementado.

Com o objetivo de equilibrar o consumo de energia da rede, os autores (ZHANG et al., 2017) propõem um algoritmo de seleção de nó retransmissor baseado na oportunidade (OAR - *Opportunistic Auto-Based*). Objetivo deste trabalho é selecionar os potenciais nós de retransmissão com base na estimativa de taxa de erro de *bit* (BER - *Bits Error Rate*), para atuar como candidatos e, em seguida, o retransmissor é determinado para encaminhamento de pacotes. O nó de retransmissão calcula o BER médio no momento do envio de dados, e determina automaticamente se a BER média é menor que o limite de BER definido para o cenário. Em caso

afirmativo, esses nós de retransmissão instituem um conjunto de nós de relés candidatos que auxiliam nó de origem para completar a transmissão de dados com eficiência.

Com os resultados obtidos os autores (ZHANG et al., 2017) afirmam que o algoritmo proposto pelo autor pode melhorar o desempenho da rede a partir do adiamento do tempo de finalização dos nós, equilibrando o consumo de energia de cada nó, e estendendo o ciclo de vida da rede. Porém, neste trabalho os autores consideram apenas um único critério, a BER, para selecionar os nós retransmissores da rede, além de utilizar o retransmissor para realizar cálculos que podem tomar processamento e consumir energia do mesmo.

Tratando-se da técnica clássica de agrupamento os autores (QI et al., 2018) propõem um algoritmo de agrupamento *k-means* modificado baseado no usuário (UBKCA) para resolver o problema de escoamento em redes heterogêneas principalmente pelo de desequilíbrio de carga em cenários de alta densidade. O objetivo deste trabalho é definido em dois passos: determinar um conjunto de grupos de usuários centrais para reduzir a complexidade da computação. Em seguida a Expansão do Alcance Celular (CRE - *Cellular Reach Expansion*) e o fator de usuário de borda são introduzidos para aprimorar o escoamento do usuário, de modo que o objetivo de balanceamento de carga possa ser alcançado.

Os resultados da simulação realizada pelos autores (QI et al., 2018) mostram que, o UBKCA proposto pode aumentar o fator de escoamento de 15% para o objetivo de 50% exigido em comparação com o KCA. Além disso, o número médio de iteração é eficientemente reduzido para 7,2 devido ao grupo de usuários central definido, que não só satisfaz 50% de escoamento, mas também atinge 91,2% de precisão de acordo com o método de concordância de índice. Contudo, os autores desconsideram a avaliação da garantia de serviços aos usuários, uma vez que consideram apenas as características espaciais da rede para determinar os retransmissores.

Os autores (DONG et al., 2015) utilizam usuários retransmissores para maximizar o tráfego móvel transferido de redes sociais móveis (MSNets - *Master-Slave Networks*). O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de cascata social estilo gossip (GSC - *Global Social chain*) para modelar o processo de difusão de informação semelhante à epidemia em MSNets. Além de propor um algoritmo ganancioso para escolher os usuários de retransmissores para o escoamento de tráfego, gerando uma solução sub-ótima para o problema da maximização do tráfego de escoamento (TOM - *Traffic Offloading Maximization*).

Os resultados apresentados pelos autores (DONG et al., 2015) mostram que a proposta o que produz uma solução dentro de cerca de 63% do valor ótimo para o problema TOM. O resultados dos experimentos mostram que o algoritmo guloso proposto supera significativamente os algoritmos heurísticos e aleatórios, sendo que para o escoamento estático o algoritmo guloso supera o algoritmo aleatório em 19%, o algoritmo de alto grau em 72%, e o algoritmo de centralidade-transmissão em 147%, em termos do benefício de descarga relativo. E a comunicação baseada na proximidade pode escoar o tráfego de celular por mais de 60% com um pequeno número de usuários retransmissores e a mobilidade do usuário pode ajudar a reduzir ainda mais a

carga celular. No entanto, o trabalho considera apenas o o método do algoritmo ganancioso para seleção dos retransmissores, além de considerar apenas o benefício de descarga, desconsiderando critérios mínimos das métricas de QoS da rede.

Diante do exposto, a utilização de algoritmos de seleção é uma técnica promissora para a escolha dos retransmissores utilizados para escoamento de tráfego, no entanto, é notório que os algoritmos de seleção em muitos casos utilizam para a avaliação um único critério. Portanto é fundamental apresentar técnicas que realizem tomadas de decisões de múltiplos critérios, que é o caso de modelos analíticos, apresentados na seção 3.2.2.

### 3.2.2 Modelos Analíticos

Os modelos analíticos são capazes de utilizar múltiplos atributos para tomada de decisão MADM afirma o autor (MARTINEZ; RAMOS, 2015). Estas técnicas proporcionam uma garantia de escolha justa muito mais bem elaborada por considerar diversos fatores de um dados campo amostral. Com isso, tem-se que estes métodos podem auxiliar de maneira satisfatória a escolha dos usuários retransmissores ideais para o escoamento.

A partir disso os autores (MARTINEZ; RAMOS, 2015) propõem o NetANPI, que é uma tomada de decisão de múltiplos atributos MADM mecanismo baseado no Processo de Rede Analítica (ANP), tendo em conta que no futuro próximo, espera-se que o número de *femtocells* irá crescer consideravelmente, o que naturalmente resultará em cobertura freqüente sobreposta. Portanto o objetivo dos autores é comparar os mecanismos MADM mais citados na literatura para o problema de seleção de rede com o mecanismo proposto, o NetANPI, e propor um mecanismo para classificar diferentes métodos de seleção de rede em um caminho teórico utilitário. Para isso, os autores implementaram numericamente seguintes MADM: NetANPI, AHP, ANP (não contrastantes com uma rede ideal), TOPSIS, ELECTRE, SAW e GRA. Os critérios avaliados pela proposta são, a ocupação da rede, definido como a porcentagem de recursos em blocos, a média da vazão alcançável pelo usuário e a perda de pacotes na rede.

Os autores (MARTINEZ; RAMOS, 2015) realizaram as simulações foram para um conjunto de 2 a 20 diferentes alternativas de rede, foram executadas 300.000 simulações para cada tomada de decisão. E nos resultados afirmam que o NetANPI mostrou o melhor desempenho no atraso entre os outros mecanismos relativos as classes de tráfego interativo e conversacional. Apesar da utilização de multi critérios para determinação de redes, o trabalho citado não considera o uso de escoamento realizado pelos usuários da rede, e apesar de utilizar multi critérios para a tomada de decisão, os autores usam apenas três destes, excluindo, por exemplo, fatores como distância e atraso, avaliados por este trabalho, que podem influenciar diretamente na qualidade de prestação de serviços aos usuários.

Todavia, os autores (LIU et al., 2014) propõem a seleção de usuários retransmissores em redes com escoamento de tráfego por meio da utilização do AHP. O objetivo deste trabalho

é utilizar vários dos mais importantes atributos de QoS para avaliar os os usuários candidatos à retransmissores. Os autores consideram a taxa de transmissão de dados, perda de pacotes, atraso, distância, estabilidade. Os autores (LIU et al., 2014) analisam o impacto da matriz de julgamento e vários parâmetros de desempenho em pontos de acesso. Por fim os autores mostram por meio de simulações que o algoritmo proposto pode melhorar a seleção de ponto de acesso e experiência do usuário. Contudo, o trabalho deixa a desejar no quesito avaliação dos resultados, já que avalia apenas dois candidatos à retransmissão, desconsiderando a aplicação do método proposto em termos de escalabilidade de usuários.

A utilização dos modelos analíticos AHP e TOPSIS para tomada de decisão foi utilizada pelo autor (WU; WANG; WOLTER, 2012) para decidir qual nuvem é a mais adequada para escoar dados em um cenário de (MCC - *Mobile Cloud Computig*). Pois com uma variedade de nuvens e vários serviços de nuvem semelhantes, de diferentes provedores, podem ser fornecidos a um dispositivo móvel final. Portanto a escolha do melhor provedor pode ser um desafio para o usuário já que existem muitos critérios como velocidade, largura de banda, preço, segurança e disponibilidade. O objetivo deste trabalho é selecionar o servidor de nuvem ideal por meio dos modelos analíticos, AHP e TOPSIS considerando os múltiplos critérios, tal como Largura de Banda, Preço, Velocidade, Segurança e Disponibilidade.

A análise numérica é realizada para avaliar o modelo, que se destacou pela avaliação por meio de múltiplos critérios. O trabalho proposto pelo autores apresenta a eficiência da utilização dos métodos AHP e TOPSIS para tomada de decisões com múltiplos critérios. No entanto o trabalho apresentado não buscou validar, por meio de comparações ou análises com outros métodos a técnica proposta.

### 3.3 Conclusões do Capítulo

Com base na análise dos trabalhos relacionados, conclui-se que o uso escoamento de tráfego em redes móveis alivia a estação base, proporcionando o aumento da expansão de cobertura da rede, diminuindo as taxas de *overhead* da rede e de usuários isolados. Assim, é fundamental o uso de técnicas para selecionar os retransmissores ideais, considerando múltiplos critérios, para fornecer melhor qualidade de serviços e alcance do sinal aos usuários. Com isso, é notório que nem todas essas características são fornecidas pelos trabalhos encontrados na academia. Entretanto, este trabalho vêm alterar esta realidade apresentando um método que satisfaz estes critérios.

## **4 HAMAT: *HIBRID ANALYTIC MODEL WITH AHP AND TOPSIS***

### **4.1 Considerações Iniciais**

Neste capítulo descreve o modelo analítico proposto para auxiliar o escoamento de tráfego em redes celulares de alta densidade. Que explora-se o método AHP para a definição do vetor peso. Em seguida a definição do método TOPSIS em um dos cenários propostos neste trabalho. Em seguida é apresentado a descrição dos algoritmos avaliados neste trabalho e seus métodos de seleção de usuários, sendo estes de agrupamento, inundação, aleatório e o HAMAT.

### **4.2 Aplicabilidade e Definição**

Os cenários de aplicações para redes móveis tem apresentado um grande aumento populacional, portanto a torna-se um desafio para as organizações e empresas prestadores deste serviço atender de maneira satisfatória todos os usuários destas redes. Existem inúmeras propostas para amenizar a carga concentrada em um retransmissor de sinal, principalmente antenas de estações base, afim de obter melhorias quanto a qualidade de serviço mesmo em cenário com alta densidade de usuários.

Como relatado no Capítulo 2 o escoamento de tráfego proporciona melhoria na entrega dos requisitos mínimos de QoS para os usuários de redes celulares, além disso essa técnica aumenta a capacidade de alcance da rede, abrangendo os usuários mais remotos. Esta técnica vêm se mostrando bastante promissora no meio científico devido sua capacidade de otimização em redes celulares, principalmente as com alta densidade de usuários, e seu baixo custo de implementação.

No entanto, a seleção dos retransmissores ideais para escoamento do tráfego encontra-se como um desafio para otimização da rede. Existem inúmeras propostas apresentadas na academia considerando critérios para a seleção de retransmissores. O autor (ZHANG et al., 2017) apresenta um modelo de seleção baseado apenas na Taxa de Erro em *bits* recebidos (BER), já o autor (QI et al., 2018) considera como critério apenas a distância euclidiana e o autor (LIU et al., 2014) apresenta como alternativa a seleção baseada em múltiplos critérios de QoS para a seleção dos usuários ideais.

Dito isso, a proposta HAMAT (*Híbrid Analítico Model AHP and TOPSIS*), é um modelo analítico híbrido que consiste na seleção de usuários retransmissores ideais para o escoamento de tráfego em redes celulares de alta densidade. A proposta possibilita a avaliação por múltiplos critérios de QoS, sendo estes a Vazão, o Atraso e a Perda de Pacotes, e parâmetros espaciais, tal como a distância euclidiana.

Para a realização da avaliação o método HAMAT utiliza dois modelos analíticos para

tomada de decisão: o AHP e TOPSIS. Sendo que o método AHP por sua vez atribui o vetor peso aos critérios avaliados com base no grau de importância dos parâmetros entre si. E a partir disso, o modelo analítico TOPSIS, utiliza modelos matemáticos como normalização e ponderação dos resultados de uma simulação reconhecimento da rede, para criar um *ranking* que determina os candidatos ideais para se tornarem retransmissores.

Com esta proposta pretende-se otimizar o método de escolha de nós retransmissores mais eficientes para o escoamento de tráfego em redes móveis. Dito isso o primeiro passo para realizar a seleção do retransmissor ideal de acordo com o método proposto, é definir o Vetor Peso de cada critério pelo AHP.

#### 4.2.1 Definição do Vetor Peso Através do AHP

Para aplicação do método AHP, considera-se, primeiramente definir os critérios que serão comparados para auxiliar na escolha dos retransmissores. Neste trabalho foram considerados os critérios de QoS, Atraso, Vazão, Perda de Pacotes e o critério espacial distância euclidiana. Os critérios selecionados foram avaliados previamente e considerados devido sua influencia na qualidade do atendimento dos serviços à rede. O Atraso, a Vazão e a Perda de Pacotes foram definidos por serem fundamentais para qualidade da rede e a distância euclidiana por favorecer a entrega do sinal aos usuários mais próximos à estação base.

Com os critérios definidos, é montada a matriz de prioridades de critérios utilizando a Escala de Saaty apresentada na Tabela 1. A Tabela 4 apresenta os valores gerados pela escala fundamental de (SAATY, 1991).

**Tabela 4 – Matriz de Prioridade do Cenário Proposto**

AHP	Atraso	Vazão	Perda	Distância
Atraso	1	0,3	0,5	0,25
Vazão	3,00	1	2	0,5
Perda	2,00	0,5	1	0,25
Distância	4	2	4	1

Em Seguida foi realizada a normalização da Matriz de Prioridade, com base na Equação 2.6, os resultados são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Matriz de Prioridade do Cenário Normalizada**

AHP (NOR)	Atraso	Vazão	Perda	Distância
Atraso	0,100	0,09	0,070	0,13
Vazão	0,300	0,26	0,267	0,25
Perda	0,200	0,13	0,133	0,13
Distância	0,400	0,52	0,533	0,50

A partir dos dados normalizados, foram definidos os pesos de cada critério. Para o cálculo foi utilizada a Equação 4.1:

$$W_i = \sum \frac{C_i}{n} \quad (4.1)$$

Com isso foram gerados os pesos de cada critério apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Pesos dos Critérios**

Critérios	Pesos (%)
Atraso	9,47%
Vazão	26,94%
Perda	14,72%
Distância	48,88%

Para validar a aplicação dos pesos definidos aos critérios avaliados, foram realizados a verificação de Consistência do Resultado, definido na Equação 2.4. De acordo com (SAATY, 1991) o grau de consistência só é considerado satisfatório se o *RC* for  $\leq 1$ . A proposta apresentou o *RC* com -0,041, atendendo os critérios de validação definidos para o AHP. Após definir e validar os pesos de cada critério avaliado foi utilizado o método TOPSIS para a criação do *ranking* com os usuários ideais para retransmissão.

#### 4.2.2 Tomada de Decisão pelo TOPSIS

Após a atribuição de pesos aos critérios avaliados, a verificação dos usuários ideais para o escoamento de tráfego na rede prossegue. Tendo como base o vetor de peso definido pelo AHP na sessão 4.2.1, o método TOPSIS atribui o peso à cada critério avaliado pela proposta. A aplicação do TOPSIS é realizada nos resultados das simulações prévias de cada cenário. Nesta sessão será utilizado como exemplo os resultados obtidos no cenário de 50 usuários, o mesmo processo foi utilizado nos demais cenários, de 100, 150 e 200 usuários, avaliados por este trabalho. No cenário utilizado como exemplo a seguir foi considerado um grupo de quatro usuários que concorrem para se tornar retransmissores, sendo que apenas um destes usuários será considerado como retransmissor.

Dito isso a primeira matriz montada pelo modelo TOPSIS é a chamada Matriz de Decisão apresentada na Tabela 7, contendo todos os critérios a serem avaliados, seus respectivos valores, obtidos pela simulação de teste, e o vetor peso definido pelo método AHP, descrito na sub sessão 4.2.1.

Na Tabela 7 os critérios são definidos a partir de grau de maximização e minimização, visto que o princípio da métrica de QoS tem como valor ideal os resultados com máximos ou mínimos. Sendo assim nota-se que as métricas de QoS, Atraso, Jitter e distância são definidos como parâmetros de potencial mínimo e a Vazão é apontada com máximo. Após isso os critérios de potencial mínimo são convertidos para máximo, isto ocorre para que os dados possam ser

**Tabela 7 – Matriz de Decisão**

Nós	min	máx	min	min
	Atraso	Vazão	Perda de Pacotes	Distância
0	0,00800	164,34	1,00	198,31
1	0,00500	164,34	2,00	291,67
2	0,00700	164,34	2,00	294,16
3	0,00400	164,35	2,00	259,05
4	0,00600	164,34	2,00	285,38

normalizados de maneira justa, tal conversão é definida através da seguinte Equação 4.2:

$$x_{Max} = w_x - x_i \quad (4.2)$$

Onde:

- $I_{max}$  é o resultado do critério maximizado
- $W_x$  é o pior caso do critério  $x$
- $x_i$  é um valor de determinado critério  $x$

E os resultados da conversão são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Conversão dos parâmetros para máxima**

Nós	Atraso	Vazão	Perda de Pacotes	Distância
0	0,00	164,34	1,00	95,85
1	0,00	164,34	0,00	2,49
2	0,00	164,34	0,00	0,00
3	0,00	164,35	0,00	35,12
4	0,00	164,34	0,00	8,79

Com todos os valores maximizados o passo seguinte é a realização da feita a normalização da matriz, definida na Equação 2.6, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9 – Matriz de Normalização dos Critérios**

Nós	Atraso	Vazão	Perda de Pacotes	Distância
0	0	0,4472	1	0,9352
1	0,5477	0,4472	0	0,0243
2	0,1826	0,4472	0	0
3	0,7303	0,4472	0	0,3427
4	0,3651	0,4472	0	0,0857

Com todos os valores normalizados a próxima etapa é a ponderação dos critérios com o seus respectivos pesos, definido pela Equação 4.3

$$P_i = m_{ij} * W_c \quad (4.3)$$

Os resultados da ponderação são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Matriz critério com pesos**

Nós	Atraso	Vazão	Perda de Pacotes	Distância
0	0	0,1252	0,11	0,477
1	0,0548	0,1252	0	0,0124
2	0,0183	0,1252	0	0
3	0,073	0,1252	0	0,1748
4	0,0365	0,1252	0	0,0437

Foi realizada também a determinação do maior valor, situação ideal positiva, após a ponderação para cada um dos itens critérios avaliados. Os valores ideais são os mostrados na Tabela 11

**Tabela 11 – Valores Ideias**

Nós	Atraso	Vazão	Perda de Pacotes	Distância
0	0	0	0	0
1	0	0	0,11	0,4646
2	0	0	0,11	0,477
3	0	0	0,11	0,3022
4	0	0	0,11	0,4332

O mesmo procedimento é adotado para a escolha do menor valor, situação não ideal, conforme Tabela 12.

**Tabela 12 – Valores Não ideais**

Nós	Atraso	Vazão	Perda de Pacotes	Distância
0	0	0	0,11	0,477
1	0,0548	0	0	0,0124
2	0,0183	0	0	0
3	0,073	0	0	0,1748
4	0,0365	0	0	0,0437

Definidos os valores ideais e não ideais, o próximo passo é calcular o desvio em relação a cada valor atribuído e somá-los, de acordo com as equações 2.8 e 2.9. O desvio da relação é apresentado na Tabela 13.

**Tabela 13 – Desvio em relação ao atributo**

Si+	Si-
0,073	0,4895
0,4777	0,0562
0,4925	0,0183
0,3216	0,1894
0,4485	0,057

Finalmente se obtém o resultado da aproximação das situações positivas e negativas, com o emprego da equação 2.10. A fase final é a ordenação decrescente dos valores obtidos, conforme mostrados na Tabela 14.

**Tabela 14 – Ranking das tecnologias com TOPSIS em ordem de melhor escolha**

Nós	Ci
0	0,8702
1	0,1052
2	0,0357
3	0,3706
4	0,1127

Os resultados apresentados acima demonstram o percentual de indicação para utilização de determinado usuário como retransmissor. De acordo com o cenário demonstrado o usuário 0 possui as melhores condições para retransmitir o tráfego da estação base para seus usuários vizinhos garantindo melhor capacidade de QoS.

### 4.3 Descrição dos Cenários

O cenário abordado por este trabalho considera que uma grande população de usuários que buscam por um conteúdo em comum, estão conectados a um recurso LTE que não suporta a grande quantidade solicitações por um serviço. Além disso, a alta densidade de dispositivos, tentando acessar a antena, gera uma interferência que aumenta o *overhead* da rede despencando o nível da qualidade de serviços. Dito isso, utiliza-se da técnica de escoamento de tráfego para melhorar as condições da rede.

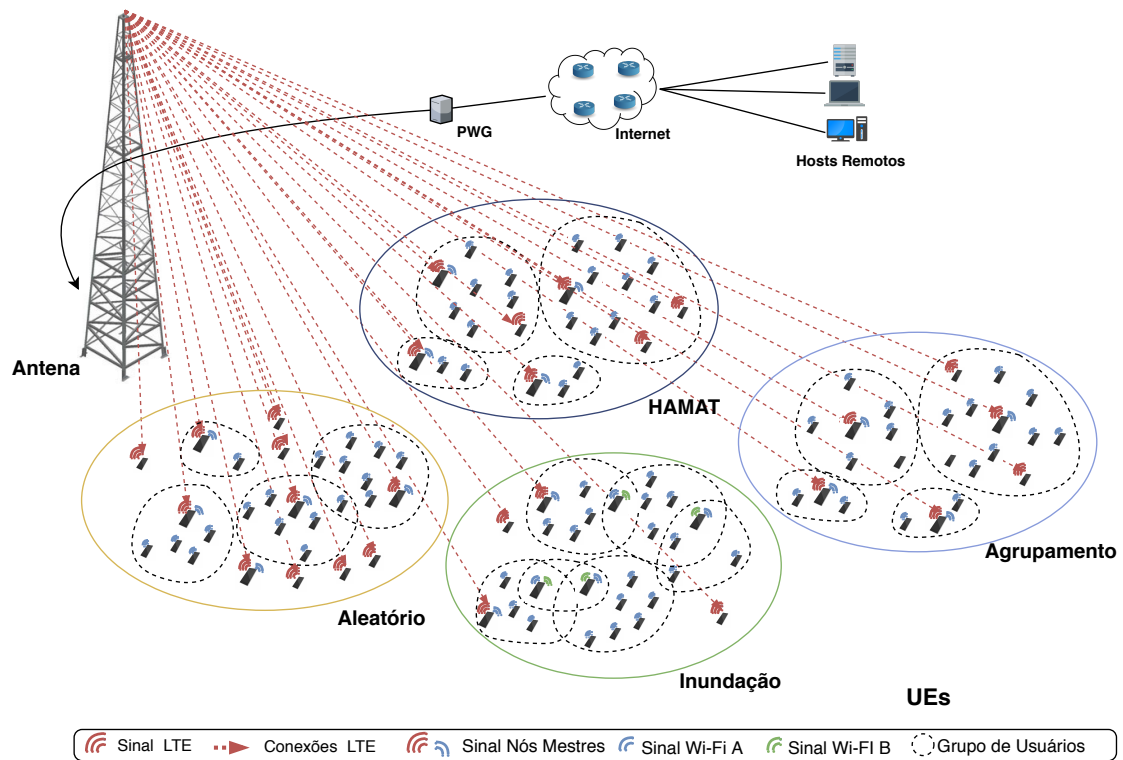
A Figura 6 apresenta todo o cenário proposto, partindo desde a arquitetura LTE utilizada na rede, e a utilização dos algoritmos para seleção para escolha de retransmissores ideais para o escoamento do tráfego.

Na Figura 6 são apresentados os algoritmos de seleção, incluindo a proposta deste trabalho. Tem-se o detalhamento de como cada algoritmo foi adaptado ao cenário para a seleção de retransmissores.

Na 7 tem-se o fluxograma do algoritmo de Agrupamento utilizado neste trabalho. Neste algoritmo a seleção é que realizadacom base no método *k-means* de agrupamento, onde ocorre a divisão do cenário em quadrantes e o retransmissor escolhido é o nó centroide.

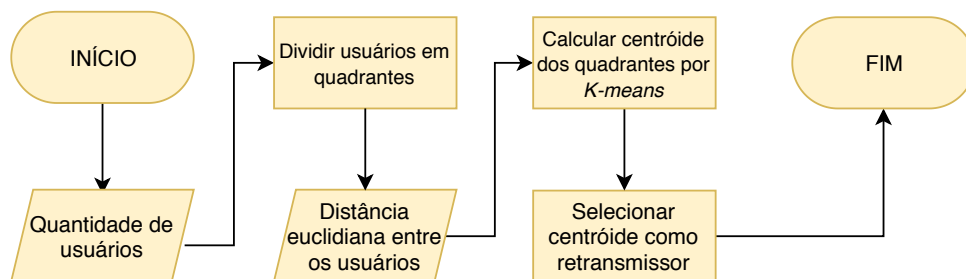
Os cenários avaliados foram divididos em dez quadrantes, ou seja, dez grupos de usuários definidos pela aproximação entre si com um usuário centróide que possui a menor distância euclidiana entre todos os demais usuários do quadrante.

Na Figura 8 apresenta o fluxograma do algoritmo de Inundação que é baseada na cadeia de inundação da rede, onde os retransmissores são definidos a medida que a rede vai se



**Figura 6 – Cenário Proposto**

Fonte: Autor



**Figura 7 – Fluxograma do método Agrupamento**

Fonte: Autor

expandindo.

No algoritmo de inundação os grupos de usuários foram definidos a medida que a rede foi crescendo, visto que de os usuários selecionados como retransmissores deveriam ser os mais distantes dentro do alcance do nó de origem.

Na Figura 9 tem-se o fluxograma de seleção pelo algoritmo Aleatório, este que seleciona os retransmissores de forma aleatória pelo identificador do usuário.

O algoritmo aleatório apresenta diversas adversidades durante a seleção dos retransmissores, visto que uma vez que o usuário selecionado já foi definido anteriormente como retransmissor ou usuário coberto, o algoritmo busca novamente um usuário para se tornar um retransmissor, aumentando a taxa de processamento durante a seleção.

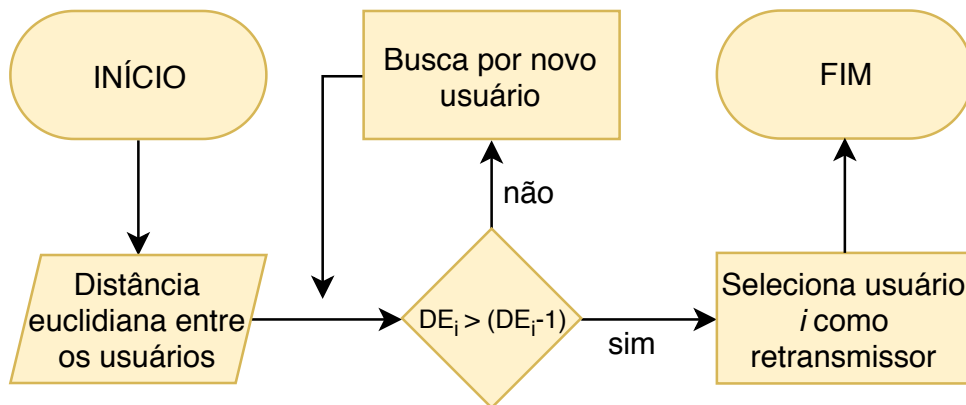


Figura 8 – Fluxograma do método Inundação

Fonte: Autor

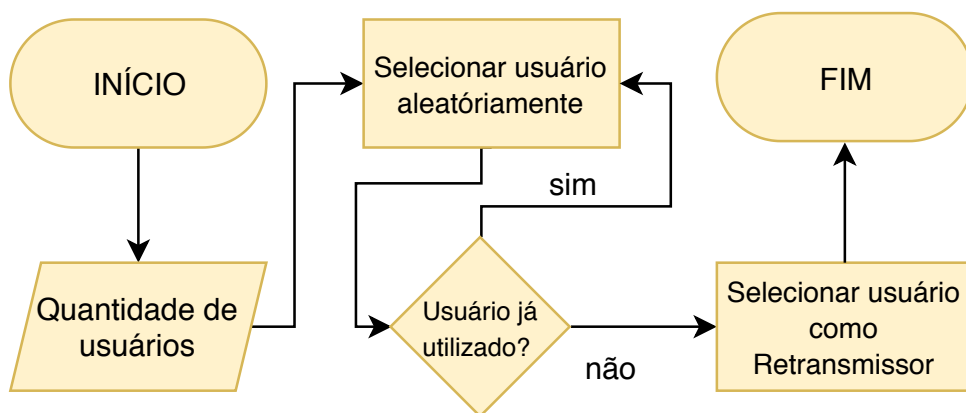


Figura 9 – Fluxograma do método Aleatório

Fonte: Autor

A Figura 10 apresenta o fluxograma do método o HAMAT, onde são utilizadas os modelos analíticos AHP e TOPSIS para selecionar os retransmissores nos cenários avaliados.

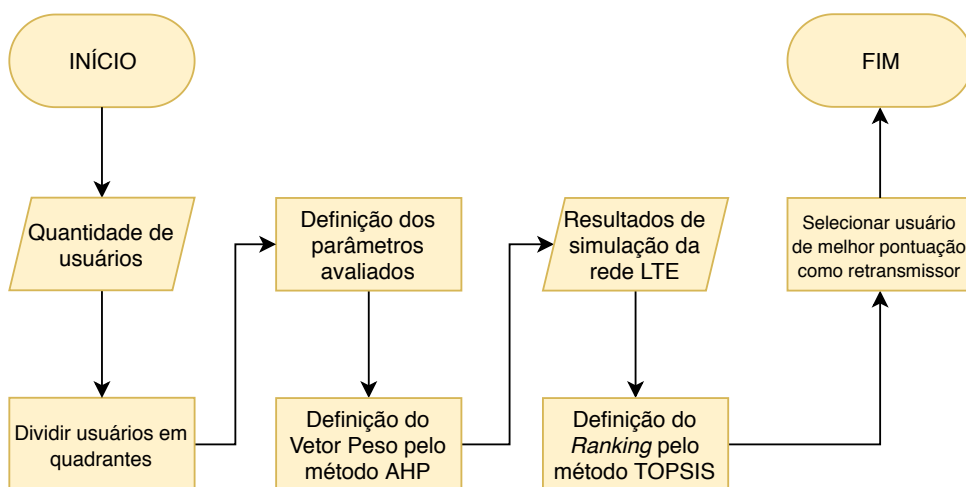


Figura 10 – Fluxograma do método HAMAT

Fonte: Autor

No método HAMAT a distribuição dos usuários é realizada da mesma forma que

o algoritmo de agrupamento, considerando a divisão dos quadrantes, no entanto a proposta diferencia-se pela seleção dos usuários retransmissores.

## **4.4 Conclusões do Capítulo**

Este capítulo descreveu o modelo analítico híbrido proposto para auxiliar a tomada de decisão durante a escolha de retransmissores em cenários de escoamento de tráfego. Assim como definiu suas características e métodos utilizados pelo mesmo durante para a seleção de usuários retransmissores ideais. Por fim foram apresentadas as características de cada algoritmo implementado para avaliação deste trabalho.

## 5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

### 5.1 Considerações Iniciais

Este capítulo é responsável por descrever a avaliação de desempenho do modelo analítico HAMAT para seleção de retransmissores em um cenário de escoamento de tráfego. Para isso tem-se a metodologia utilizada para as simulações, isto é, o ambiente simulado e as configurações da rede. São apresentados a seguir os resultados pelas simulações avaliados, a qualidade do serviço oferecido pela proposta e o percentual de melhoria em relação aos demais algoritmos de seleção avaliados. Por fim têm-se a conclusão do capítulo.

### 5.2 Descrição da Simulação

As simulações<sup>1</sup> foram realizadas no NS3, definido na sub sessão 2.7, devido a capacidade do simulador gerar inúmeros cenários com interações e modificações, possibilitando a análise de uma vasta quantidade de cenários. Além disso o NS3 é muito utilizado pelo meio científico, devido sua aproximação de resultados reais.

Na Tabela 15 são definidas as configurações das redes estudadas deste trabalho. Os parâmetros apresentados na Tabela 15 foram baseados nos trabalhos dos seguintes autores, (MARINESCU; MACALUSO; DASILVA, 2017) para definir as configurações de fluxo em uma rede LTE, (JUNG; AHN; KO, 2014b) para definir as configurações de transferências por redes Wi-Fi *Direct* e (IM et al., 2017) para a definição da frequência de transferência do fluxo da rede. Desta forma atendendo as configurações ideais para a análise dos cenários apresentados a seguir.

A versão utilizada do NS3 utilizada neste trabalho não possui suporte para a conversão de sinal LTE para Wi-Fi, dito isso foi utilizada uma caracterização de *handover* vertical a partir da divisão da simulação em duas partes, a primeira definida por uma rede LTE onde o recurso envia os pacotes para os respectivos retransmissores. E a segunda etapa é a com a rede Wi-Fi onde os retransmissores enviam a mesma quantidade de pacotes recebidos pela etapa anterior para os usuários vizinhos.

---

<sup>1</sup> Disponíveis no link: <<https://github.com/CarlosLopes97/HAMAT>>.

**Tabela 15 – Parâmetros de Configuração das Simulações**

Parâmetros	Valores
Simulador	NS3 (v.3.27)
Redes Utilizadas	LTE/Wireless
Modelo de Interface LTE	EPC Model
Modelo de Interface Wireless	Ad-hoc
PHY	ErpOfdmRate54Mbps
MAC	IEEE 802.11g
Modelo de Atraso	Constant Speed
Modelo de Propagação	Two-Ray Ground
Frequencia de Propagação	5,15 GHz
Protocolo de Roteamento	Ipv4 Global Routing
Intervalo de Envio dos Pacotes	0,05 Segundos
Quantidade de Pacotes	6000 Pacotes
Tamanho dos Pacotes	1024 bytes
Tamanho da Rede	500x500 Metros
Densidade de Usuários	50, 100, 150 e 200
Posicionamento dos Nós	Aleatória
Mobilidade dos Nós	Estática
Tempo de Simulação	300 Segundos

Para a obtenção dos resultados de de cada cenário foi utilizado o módulo *ns3::flowmonitor*. Este módulo analisa todas as informações das conexões ponta a ponta, o mesmo possibilita a exportação de *traces* da rede. Este trabalho utilizou o *flowmonitor* para obtenção das métricas de Qualidade de Serviço, definidas da sessão 2.8 do capítulo 2, nos cenários avaliados.

### 5.3 Resultados das Simulações

Os resultados obtidos pela saída de *traces* do simulador computacional NS3 foi analisada em um arquivo de planilha para obtenção das informações geradas pelos devidos cenários. Em cada cenário foram implementados os quatro algoritmos estudados neste trabalho, o de agrupamento, inundação, aleatório e HAMAT. E cada algoritmo apresentou suas diferenças em relação à obtenção dos resultados e quantidades de simulações realizadas por cenário, sendo que para os algoritmos de agrupamento e HAMAT foram realizadas dez simulações, visto que a criação dos grupos de usuários são realizadas antecipadamente. Já os algoritmos de inundação e aleatório necessitaram de mais simulações pois os grupos de usuários foram criados a medida que os retransmissores foram selecionados.

Em um primeiro caso foram considerados apenas o tráfego dos usuários que recebem o conteúdo dos retransmissores e dos próprios retransmissores com o recurso LTE. Na Tabela 16 nota-se que os resultados com destaque em negrito são os que apresentam melhor desempenho para rede em cada cenário.

De acordo com a Tabela 16 o método proposto apresentou melhor desempenho quanto

**Tabela 16 – Média Absoluta dos Parâmetros de QoS nos Cenários Propostos Apenas com Retransmissores**

Cenários	Parâmetros	Agrupamento	Inundação	Aleatório	HAMAT
50	PDR (%)	89,76	79,45	91,58	<b>92,41</b>
	Média Vazão (Kbps)	119,51	122,26	123,21	<b>124,16</b>
	Média Atraso (ms)	5,92	4,79	4,25	<b>3,35</b>
	Média Jitter (ms)	13,83	28,42	26,48	<b>11,95</b>
	Usuários Não alcançados	<b>1,00</b>	8,00	17,00	3,00
100	PDR (%)	<b>85,60</b>	76,06	73,99	85,00
	Média Vazão (Kbps)	<b>121,45</b>	118,48	118,51	118,17
	Média Atraso (ms)	12,22	13,41	15,46	<b>7,28</b>
	Média Jitter (ms)	27,65	52,34	23,31	<b>21,24</b>
	Usuários Não alcançados	<b>0,00</b>	16,00	9,00	9,00
150	PDR (%)	75,47	72,67	70,54	<b>76,09</b>
	Média Vazão (Kbps)	117,88	122,08	122,72	<b>123,43</b>
	Média Atraso (ms)	21,98	22,04	21,42	<b>17,22</b>
	Média Jitter (ms)	56,59	25,35	57,95	<b>16,90</b>
	Usuários Não alcançados	<b>0,00</b>	30,00	19,00	15,00
200	PDR (%)	67,59	78,92	75,02	<b>85,46</b>
	Média Vazão (Kbps)	115,27	122,66	120,48	<b>127,38</b>
	Média Atraso (ms)	31,07	25,43	16,31	<b>10,68</b>
	Média Jitter (ms)	59,82	48,77	41,47	<b>35,70</b>
	Usuários Não alcançados	<b>0,00</b>	15,00	14,00	8,00

as métricas de QoS na maioria dos cenários avaliados. É visível que a proposta teve um aumento de melhoria do QoS relativo ao aumento da densidade de usuários, ocorre pelo aumento da quantidade de usuários em um mesmo espaço amostral gerar mais informações a serem processadas, e isso demonstra a eficácia da proposta em meio aos cenários de alta densidade pela seleção dos usuários com capacidade ideal de melhoria da rede.

No entanto, o HAMAT não obteve uma boa otimização na quantidade de usuários cobertos. Quando comparado aos demais algoritmos implementados neste cenário observa-se que o algoritmo de agrupamento obteve o melhor resultado que o HAMAT neste parâmetro, alcançando todos os usuários, com exceção do cenário com 50 usuários, que foi onde o Agrupamento não alcançou apenas 1 usuário.

Entretanto para os usuários que não estabeleceram *link* direto aos nós retransmissores, uma vez recebendo dados da estação base, estes usuários podem receber o sinal da antena LTE, como mostra a Figura 6. Por conta disso foi considerado um segundo caso avaliado, onde foram realizadas novas simulações que consideraram que os usuários não alcançados pelos retransmissores fossem alcançados pela antena.

Considerando este caso, em que todos os usuários da rede estão conectados, o HAMAT consegue obter os melhores resultados em todos os cenários quando comparado aos demais algoritmos implementados, como apresenta a Figura 11.

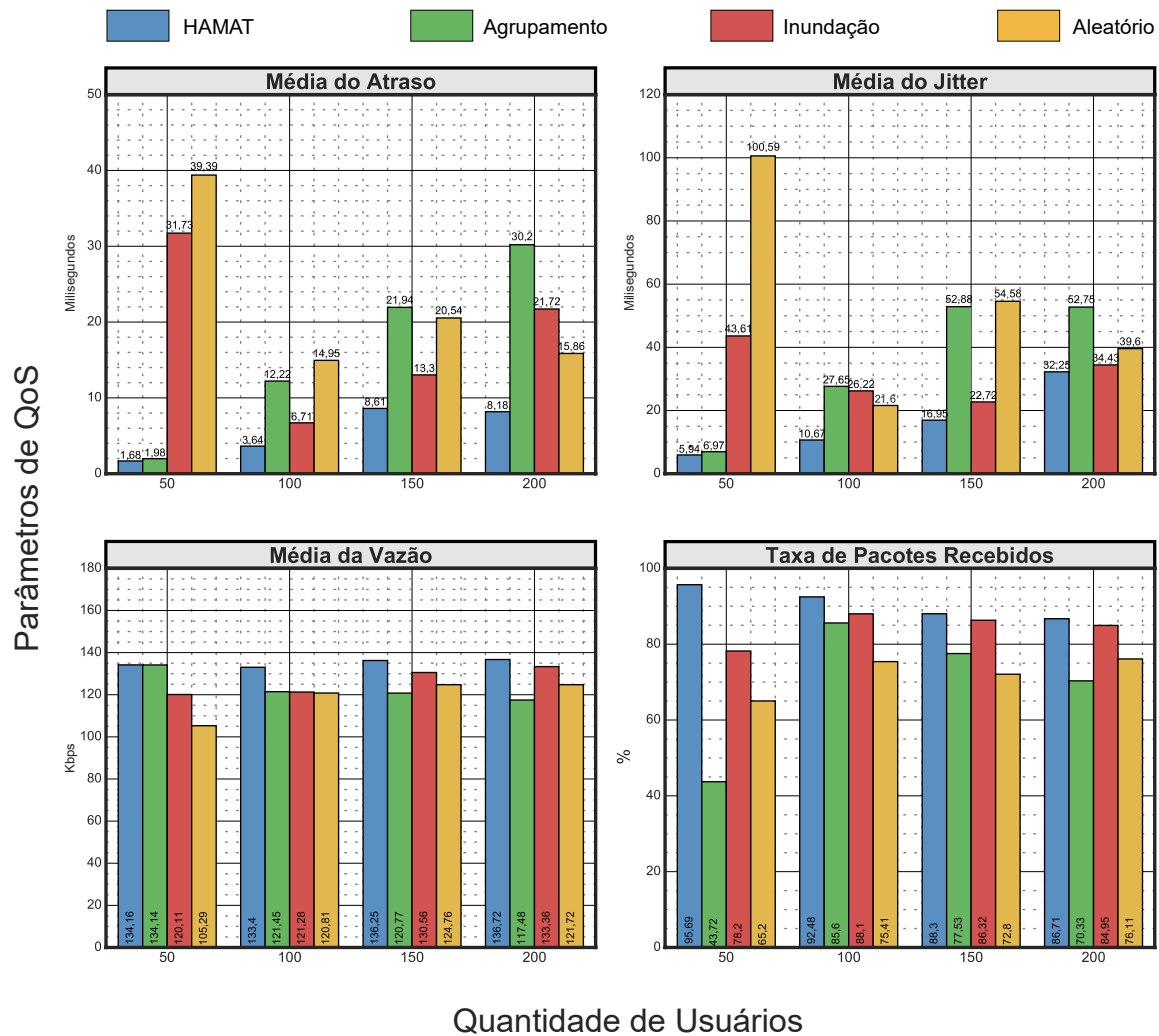


Figura 11 – Resultados de QoS da Rede nos Cenários Propostos

Para o método HAMAT o parâmetro com maior influência é o PDR, pois este parâmetro define o quanto de pacotes foram recebidos pelos usuários, e isto é um fator fundamental para qualquer tipo de aplicação de rede. Outro fator avaliado é a quantidade do retransmissores utilizados para cobrir o máximo de usuário possíveis da rede por cada algoritmo, apresentados na Tabela 17. O HAMAT por ter como base a mesma distribuição que o algoritmo de agrupamento possui, baseado na técnica *k-means*, ambos determinam a quantidade de quadrantes e dividem o cenário. Já para os algoritmos por seleção aleatória e de inundação foram necessárias diversas rodadas, sendo que em cada uma rodada foi incrementado um retransmissor, para cobrir o máximo de usuários possível.

Tabela 17 – Quantidade de Retransmissores Utilizados por Cada Algoritmo

Cenários	HAMAT	Agendamento	Inundação	Aleatório
50 Usuários	10	10	18	14
100 Usuários	10	10	17	15
150 Usuários	10	10	21	15
200 Usuários	10	10	23	19

Como visto, na Tabela 17 é apresentado que o algoritmo de Agrupamento e o HAMAT utilizaram apenas 10 retransmissores, já o algoritmo de Inundação e Aleatório necessitam de uma maior quantidade de retransmissores para cobrir os usuários da rede.

A fim de validar a melhoria do QoS oferecida pela proposta em relação aos demais algoritmos, foi utilizado o Percentual de Melhoria  $P_i$  que é definido na Equação 5.1, a seguir:

$$P_i = \left| \left( \frac{x_n - x_i}{x_i} \right) \right| * 100 \quad (5.1)$$

Onde:

- $x_n$  é o valor antigo
- $x_i$  é o valor novo

Sendo assim o valor  $x_n$  representa os resultados obtidos pelo HAMAT em cada parâmetro. E o  $x_i$  são os resultados obtidos através dos algoritmos comparados.

Visto isso, o HAMAT foi comparado com os algoritmos de seleção em cada resultado de todos os parâmetros avaliados em todos os cenários abordados. E realizado o cálculo do percentual de melhoria em cada caso. O HAMAT possuiu uma considerável melhoria em relação aos outros algoritmos. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 18, que demonstra os dois casos onde os cenários foram avaliados o tráfego da rede sendo apenas com o retransmissores e retransmissores com recurso LTE aos usuários não alcançados pelos retransmissores.

**Tabela 18 – Percentual de Melhoria de QoS Oferecido pelo HAMAT em Relação aos Algoritmos Avaliados**

Cenários	Parâmetros	Agrupamento		Inundação		Aleatório	
		Apenas RN	RN + LTE	Apenas RN	RN + LTE	Apenas RN	RN + LTE
50	PDR	2,87%	8,34%	14,03%	18,70%	0,90%	32,40%
	Vazão	2,25%	3,42%	1,56%	11,67%	0,78%	21,26%
	Atraso	43,35%	57,80%	29,99%	94,71%	21,09%	95,74%
	Jitter	13,62%	14,30%	57,97%	86,29%	54,89%	94,06%
100	PDR	0,70%	7,45%	10,51%	4,83%	12,96%	18,46%
	Vazão	2,78%	8,71%	0,26%	8,84%	0,29%	9,19%
	Atraso	40,43%	70,19%	45,73%	45,71%	52,93%	75,64%
	Jitter	23,18%	61,43%	59,41%	60,07%	8,85%	50,62%
150	PDR	0,82%	11,93%	4,50%	7,63%	7,30%	18,12%
	Vazão	4,49%	12,96%	1,09%	13,11%	0,57%	10,08%
	Atraso	21,67	60,74	21,86	46,25%	19,62%	58,06%
	Jitter	70,14%	67,95%	33,33%	25,26%	70,84%	68,95%
200	PDR	20,91%	22,89%	7,65%	6,87%	12,21%	16,56%
	Vazão	9,51%	15,92%	3,71%	8,13%	5,42%	12,88%
	Atraso	65,62%	72,92%	57,98%	35,70%	34,51%	48,44%
	Jitter	40,32%	38,87%	26,80%	6,34%	13,91%	18,55%

Com o descrito na Tabela 18 nota-se que o HAMAT em seu pior caso o Apenas RN, onde não obteve o alcance completo dos usuários e foram considerados apenas os retransmissores,

obteve uma melhoria mínima nos critérios de QoS. E no caso ideal RN + LTE, onde todos nós são cobertos com o auxílio do recurso LTE, o HAMAT obteve uma melhoria em relação aos demais algoritmos avaliados.

Com isso foi utilizado o percentual total de melhoria de QoS, apresentado na Equação 5.2, para avaliar a melhoria da proposta em relação aos algoritmos avaliados. Este percentual de melhoria total considera o percentual de melhoria de cada algoritmo relacionado aos parâmetros avaliados.

$$P_T = \frac{\sum P_i}{P_{id}} \quad (5.2)$$

Onde:

- $P_i$  é o Percentual de cada parâmetro definido na Equação 5.1
- $P_{id}$  é a quantidade de parâmetros avaliados

Com a somatória da melhoria da proposta em relação aos demais algoritmos, obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 19. Que mostram que o HAMAT, possui uma melhoria considerável nos critérios de QoS abordados neste trabalho em todos os cenários avaliados.

**Tabela 19 – Percentual de Melhoria do QoS Total do HAMAT em Relação aos Algoritmos nos Cenários Propostos**

Cenários	Agrupamento		Inundação		Aleatório	
	Apenas RN	RN + LTE	Apenas RN	RN + LTE	Apenas RN	RN + LTE
50	15,90%	21,14%	25,11%	53,18%	19,03%	61,00%
100	15,03%	36,94%	23,72%	29,87%	12,28%	38,48%
150	23,87%	38,40%	12,95%	23,06%	20,93%	38,80%
200	34,09%	37,65%	20,21%	14,26%	10,41%	24,11%

Portanto o HAMAT apresentou-se como uma proposta promissora para seleção de retransmissores que alcança os requisitos mínimos de QoS nos diversos cenários avaliados. Apresentando um percentual de melhoria de QoS quando comparados aos demais algoritmos de seleção implementados nos mesmo cenário, com o mínimo de 10,41% e máximo de até 61% de melhoria nos cenários avaliados.

## 5.4 Conclusão do Capítulo

Neste Capítulo foi analisado o desempenho da proposta HAMAT e comparado-a com algoritmos de seleção utilizados nos cenários definidos no trabalho. Foi possível comprovar que o HAMAT apresentou os retransmissores mais aptos à garantir a qualidade de serviços da rede. Isto ocorre porque o HAMAT considera múltiplos critérios para a seleção dos retransmissores, incluindo as métricas de QoS que cada nó apresenta, sendo que tal criteriosidade para seleção de

retransmissores não é provida pelos algoritmos, o que favoreceu a proposta durante a comparação de desempenho da rede, que apresentou um percentual de melhoria de QoS de no mínimo, 10,41% e máximo de até 61% em relação aos algoritmos de seleção nos cenários avaliados.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um modelo analítico híbrido, chamado HAMAT, que considera os modelos analíticos AHP e TOPSIS para a tomada de decisão. Este modelo analítico é designado para seleção de usuários retransmissores ótimos durante o escoamento de tráfego em redes celulares. O HAMAT considera múltiplos critérios para a tomada de decisão, tal como as métricas de QoS: Atraso, Vazão e Perda de Pacotes. E a métrica espacial, distância euclidiana.

Por meio de uma simulação computacional para obtenção dos dados dos usuários, o HAMAT apontou os retransmissores ideais para o escoamento da rede, buscando a melhor qualidade de serviços aos usuários. Para comprovação do potencial do HAMAT foram considerados os seguintes algoritmos de seleção, o Agrupamento, Inundação e Aleatório, estes que possuem diferentes critérios para escolha de retransmissores, para comparação da avaliação do desempenho todos os algoritmos foram implementados nos cenários propostos por meio do simulador de redes NS3.

Os resultados das simulações mostram que os cenários onde o HAMAT definiu os retransmissores ideais possuíram uma melhoria considerável na qualidade de serviços. Ao comparar os resultados obtidos pelo método HAMAT com os outros algoritmos implementados, foi obtido que o percentual de melhoria de QoS da rede, com o HAMAT, variou de 10,41% até 61%, nos cenários propostos.

Como trabalhos futuros, para dar continuidade à proposta do trabalho e melhorar os resultados alcançados até o presente momento, pretende-se analisar e implementar outros algoritmos de seleção de retransmissores, além de incorporar a mobilidade aos usuários para abranger o potencial da proposta cenários de redes móveis como MANET's e VANET's. Considera-se também o uso da teoria de jogos para o uso de recompensas aos usuários retransmissores com destaque na prestação de serviços.

## REFERÊNCIAS

- 3GPP. *ITU-R confers IMT-Advanced (4G) status to 3GPP LTE*. 2010. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1319-ITU-R-Confers-IMT-Advanced-4G-Status-to-3GPP-LTE>>. Acesso em: 22/11/2018.
- 3GPP. *The 3GPP LTE website*. 2018. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/LTE>>. Acesso em: 20/11/2018.
- A POOMALAI T, S. W. N. I. A. Data traffic offloading using relay node selection in device to device communication. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, v. 119, n. 15, p. 1533–1542, 2018.
- ADAM, H.; BETTSTETTER, C.; SENOUCI, S. M. Adaptive relay selection in cooperative wireless networks. In: IEEE. **Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on**. [S.l.], 2008. p. 1–5.
- ALLIANCE, W.-F. P2p technical group. **Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification v1.0**, 2009.
- ALMHEIRI, S. M.; ALQAMZI, H. S. Manets and vanets clustering algorithms: A survey. In: IEEE. **GCC Conference and Exhibition (GCCCE), 2015 IEEE 8th**. [S.l.], 2015. p. 1–6.
- ASHRAF, H. M. Advancements towards 4g. 2010.
- ASTÉLY, D. et al. Lte: the evolution of mobile broadband. **IEEE Communications magazine**, IEEE, v. 47, n. 4, 2009.
- BARBERA, M. V. et al. To offload or not to offload? the bandwidth and energy costs of mobile cloud computing. In: IEEE. **INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE**. [S.l.], 2013. p. 1285–1293.
- BENNIS, M. et al. When cellular meets wifi in wireless small cell networks. **IEEE communications magazine**, IEEE, v. 51, n. 6, p. 44–50, 2013.
- BLEICHER, A. A surge in small cells. **IEEE Spectrum**, IEEE, v. 50, n. 1, p. 38–39, 2013.
- BLETSAS, A.; SHIN, H.; WIN, M. Z. Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, IEEE, v. 6, n. 9, 2007.
- BLUMBERG, S. J.; LUKE, J. V. Wireless substitution: early release of estimates from the national health interview survey, january-june 2008. **National Center for Health Statistics**, v. 201, n. 3, 2010.
- BOUALLEGUE, T.; SETHOM, K. Survey on relay selection techniques in cognitive networks. In: IRA. **IRA-International Journal of Technology and Engineering**. [S.l.], 2016. p. 71–83.
- BUTLER, E. L. General random number generator [g5]. **Communications of the ACM**, ACM, v. 13, n. 1, p. 49–52, 1970.
- CAMPS-MUR, D.; GARCIA-SAAVEDRA, A.; SERRANO, P. Device-to-device communications with wi-fi direct: overview and experimentation. **IEEE wireless communications**, IEEE, v. 20, n. 3, p. 96–104, 2013.

- CAO, J. et al. A survey on security aspects for lte and lte-a networks. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, IEEE, v. 16, n. 1, p. 283–302, 2014.
- CHALMERS, D.; SLOMAN, M. A survey of quality of service in mobile computing environments. **IEEE Communications Surveys**, v. 2, n. 2, p. 2–10, Second 1999.
- CHEN, X. Decentralized computation offloading game for mobile cloud computing. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, IEEE, v. 26, n. 4, p. 974–983, 2015.
- CHEN, Y. Fuzzy ahp-based method for project risk assessment. In: IEEE. **Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2010 Seventh International Conference on**. [S.l.], 2010. v. 3, p. 1249–1253.
- CHOY, S. et al. The brewing storm in cloud gaming: A measurement study on cloud to end-user latency. In: IEEE PRESS. **Proceedings of the 11th annual workshop on network and systems support for games**. [S.l.], 2012. p. 2.
- CHUN, B.-G. et al. Clonecloud: elastic execution between mobile device and cloud. In: ACM. **Proceedings of the sixth conference on Computer systems**. [S.l.], 2011. p. 301–314.
- CISCO. **Understanding Jitter in Packet Voice Networks**. 2006. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/18902-jitter-packet-voice.html>>. Acesso em: 25/11/2018.
- CISCO. **Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021**. 2017. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>>. Acesso em: 25/11/2018.
- COMMITTEE, I. C. S. L. M. S. et al. Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. **ANSI/IEEE Std. 802.11-1999**, 1999.
- DINH, H. T. et al. A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. **Wireless communications and mobile computing**, Wiley Online Library, v. 13, n. 18, p. 1587–1611, 2013.
- DONG, C.; WANG, Y.; LU, J. A two-step user selection algorithm for multiuser precoding. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 63, n. 4, p. 1922–1927, May 2014. ISSN 0018-9545.
- DONG, W. et al. Epidemic-like proximity-based traffic offloading. **China Communications**, v. 12, n. 10, p. 91–107, Oct 2015. ISSN 1673-5447.
- ERICSSON. **LTE - an Introduction**. 2009. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20100801122658/http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/lte\\_overview.pdf](https://web.archive.org/web/20100801122658/http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/lte_overview.pdf)>. Acesso em: 25/11/2018.
- EVERITT SABINE LANDAU, M. L. D. S. B. S. **Cluster Analysis, 5th Edition**. [S.l.]: Wiley Series in Probability and Statistics, 2011. 346 p. ISBN 978-0-470-74991-3.
- FENG-GAO, L. The production principle and application of random numbers. **Journal of Hubei University of Technology**, v. 4, p. 024, 2009.

- GAWAS, M. A.; TAMBI, R. Data rate adaptation algorithms survey for iee 802.11 networks. In: IEEE. **2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC)**. [S.l.], 2017. p. 926–932.
- GEORGIOS K. TIMOTHEOS, L. Z. P. S. A. An autonomic qos-centric architecture for integrated heterogeneous wireless networks. **Journal Mobile Networks and Applications**, v. 16, n. 4, p. 490–504, Aug 2011.
- GERGELY, A. M.; CRAINICU, B. A succinct survey on (pseudo)-random number generators from a cryptographic perspective. In: IEEE. **Digital Forensic and Security (ISDFS), 2017 5th International Symposium on**. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- GERLA, M.; TSAI, J. T.-C. Multicenter, mobile, multimedia radio network. **Wireless networks**, Springer, v. 1, n. 3, p. 255–265, 1995.
- GHAVIMI, F.; CHEN, H.-H. M2m communications in 3gpp lte/lte-a networks: Architectures, service requirements, challenges, and applications. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, IEEE, v. 17, n. 2, p. 525–549, 2015.
- GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **American Journal of Computational Mathematics**, JSTOR, n. 4, p. 857–871, Mar 1971. ISSN 1436-4646.
- GUPTA, S.; MATHUR, A. Enhanced flooding scheme for aodv routing protocol in mobile ad hoc networks. In: IEEE. **Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies (ICESC), 2014 International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 316–321.
- HANSEN, P.; JAUMARD, B. Cluster analysis and mathematical programming. **Mathematical Programming Society**, Springer-Verlag, n. 1, p. 191–215, Mar 1997. ISSN 1436-4646.
- HOLMA, H.; TOSKALA, A. **LTE advanced: 3GPP solution for IMT-Advanced**. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2012.
- IM, Y. et al. Flare: Coordinated rate adaptation for http adaptive streaming in cellular networks. In: **2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 298–307. ISSN 1063-6927.
- ISMAIL, M.; ABDRABOU, A.; ZHUANG, W. Cooperative decentralized resource allocation in heterogeneous wireless access medium. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, IEEE, v. 12, n. 2, p. 714–724, 2013.
- ITU. **ITU World Radiocommunication Seminar highlights future communication Technologies**. 2010. Disponível em: <[https://www.itu.int/net/itunews/issues/2010/10/pdf/201010\\_27.pdf](https://www.itu.int/net/itunews/issues/2010/10/pdf/201010_27.pdf)>. Acesso em: 22/11/2018.
- JAIN, A. Fpga as a reconfigurable access point in dense wireless lans using fdma-tdma combination. In: **2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6.
- JAIN, A. K.; DUBES, R. C. Algorithms for clustering data. **American Journal of Computational Mathematics**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, n. 1, 1988.
- JANIC, M.; REGGIANI, A. An application of the multiple criteria decision making (mcdm) analysis to the selection of a new hub airport. **European journal of transport and infrastructure research EJTI**, 2 (2), TU Delft, 2002.

JING, Y.; JAFARKHANI, H. Single and multiple relay selection schemes and their achievable diversity orders. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, v. 8, n. 3, p. 1414–1423, March 2009. ISSN 1536-1276.

JOHNSON, D. B.; MALTZ, D. A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In: **Mobile computing**. [S.l.]: Springer, 1996. p. 153–181.

JOŠILO, S.; DÁN, G. Selfish decentralized computation offloading for mobile cloud computing in dense wireless networks. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, v. 18, n. 1, p. 207–220, Jan 2018. ISSN 1536-1233.

JUNG, W.-S.; AHN, H.; KO, Y.-B. Designing content-centric multi-hop networking over wi-fi direct on smartphones. In: IEEE. **Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE**. [S.l.], 2014. p. 2934–2939.

JUNG, W.-S.; AHN, H.; KO, Y.-B. Designing content-centric multi-hop networking over wi-fi direct on smartphones. In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 2934–2939.

JUNIPER. **WiFi and femtocell integration strategies 2011-2015**. 2011. Disponível em: <http://www.juniperresearch.com/>. Acesso em: 15/11/2018.

KANEKO, M.; POPOVSKI, P.; HAYASHI, K. Throughput-guaranteed resource-allocation algorithms for relay-aided cellular ofdma system. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 58, n. 4, p. 1951–1964, May 2009. ISSN 0018-9545.

KAUR, D.; KAUR, K.; ARORA, V. Qos in wlan using ieee802.11e: Survey of qos in mac layer protocols. In: **2012 Second International Conference on Advanced Computing Communication Technologies**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 468–473. ISSN 2327-0632.

KENNEDY WILLIAM J., J.; GENTLE, J. E. **Statistical computing**. New York: Marcel Dekker Inc, 1980.

KHURANA, S. et al. Performance evaluation of distributed co-ordination function for ieee 802.11 wireless lan protocol in presence of mobile and hidden terminals. In: IEEE. **Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 1999. Proceedings. 7th International Symposium on**. [S.l.], 1999. p. 40–47.

KOROWAJCZUK, L. **LTE, WiMAX and WLAN network design, optimization and performance analysis**. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2011.

KREMER, U.; HICKS, J.; REHG, J. A compilation framework for power and energy management on mobile computers. In: SPRINGER. **International Workshop on Languages and Compilers for Parallel Computing**. [S.l.], 2001. p. 115–131.

KU, G.; WALSH, J. M. Resource allocation and link adaptation in lte and lte advanced: A tutorial. **IEEE communications surveys and tutorials**, IEEE, v. 17, n. 3, p. 1605–1633, 2015.

KUMARI, P.; KAUR, K. A weight-based approach for node failure detection and recovery in mobile cloud computing. In: IEEE. **Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology (RTEICT), IEEE International Conference on**. [S.l.], 2016. p. 161–164.

- KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. ADDISON WESLEY BRA, 2007. ISBN 9788588639188. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=i5WwAAAACAAJ>>.
- LEE, J.-S.; SU, Y.-W.; SHEN, C.-C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In: IEEE. **Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE**. [S.l.], 2007. p. 46–51.
- LEE, K. et al. Mobile data offloading: How much can wifi deliver? In: ACM. **Proceedings of the 6th International Conference**. [S.l.], 2010. p. 26.
- LEE, S.-J.; SU, W.; GERLA, M. On-demand multicast routing protocol in multihop wireless mobile networks. **Mobile networks and applications**, Springer, v. 7, n. 6, p. 441–453, 2002.
- LIU, B. **Web data mining: exploring hyperlinks, contents, and usage data**. [S.l.]: Springer Science and Business Media, 2007.
- LIU, F.; XIONG, L. Survey on text clustering algorithm-research present situation of text clustering algorithm. In: IEEE. **Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2011 IEEE 2nd International Conference on**. [S.l.], 2011. p. 196–199.
- LIU, X. et al. An analytic hierarchy process algorithm for cloud based wi-fi offloading. In: **2014 IEEE International Conference on Computer and Information Technology**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 234–239.
- MARINESCU, A.; MACALUSO, I.; DASILVA, L. System level evaluation and validation of the ns-3 lte module in 3gpp reference scenarios. In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 59–64.
- MARTINEZ, I.; RAMOS, V. Netanpi: A network selection mechanism for lte traffic offloading based on the analytic network process. In: **2015 36th IEEE Sarnoff Symposium**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 117–122.
- PASUPULATI, R. P.; SHROPSHIRE, J. Analysis of centralized and decentralized cloud architectures. In: IEEE. **SoutheastCon, 2016**. [S.l.], 2016. p. 1–7.
- PUNEETHA, M.; NIRMALA, M. Energy efficient power aware vm scheduling in decentralized cloud. In: IEEE. **2017 2nd International Conference On Emerging Computation and Information Technologies (ICECIT)**. [S.l.], 2017. p. 1–4.
- QI, W. et al. A user-based k-means clustering offloading algorithm for heterogeneous network. In: **2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 307–312.
- QUALCOMM. **A Comparison of LTE Advanced HetNets and WiFi**. 2011. Disponível em: <<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/a-comparison-of-lte-advanced-hetnets-and-wi-fi.pdf>>. Acesso em: 25/10/2018.
- RAHIMI, M. R. et al. Mapcloud: mobile applications on an elastic and scalable 2-tier cloud architecture. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. **Proceedings of the 2012 IEEE/ACM fifth international conference on utility and cloud computing**. [S.l.], 2012. p. 83–90.
- RAHIMI, M. R. et al. On optimal and fair service allocation in mobile cloud computing. **IEEE Transactions on Cloud Computing**, IEEE, 2015.

- REBECCHI, F. et al. Data offloading techniques in cellular networks: A survey. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 17, n. 2, p. 580–603, 2015.
- REGE, Y.; ABDULLAH, M. A survey on relay selection techniques in cooperative communication. **Journals for International Shodh in Engineering and Technology**, v. 1, p. 65–69, Jun 2016. ISSN 2454-9606.
- ROHAL RUCHIKA DAHIYA, P. D. P. Study and analysis of throughput, delay and packet delivery ratio in manet for topology based routing protocols (aodv, dsr and dsdv). **International Journal For Advance Research In Engineering And Technology**, v. 1, p. 54–58, Mar 2013. ISSN 2320-6802.
- ROY, B. The outranking approach and the foundations of electre methods. In: **Readings in multiple criteria decision aid**. [S.l.]: Springer, 1990. p. 155–183.
- ROYER, E. M.; PERKINS, C. E. Ad-hoc on-demand distance vector routing. In: **Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications**. [S.l.: s.n.], 1999. v. 2, p. 90–100.
- RUDENKO, A. et al. Saving portable computer battery power through remote process execution. **ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review**, ACM, v. 2, n. 1, p. 19–26, 1998.
- SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. **São Paulo: Makron**, 1991.
- SHAH, A. P. G. V. K. A review on relay selection techniques in cooperative communication. **International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)**, v. 2, p. 65–69, Nov 2012. ISSN 2277-3754.
- SHAH, S. C. Recent advances in mobile grid and cloud computing. **Intelligent Automation and Soft Computing**, Taylor and Francis, p. 1–13, 2017.
- SINGH, R.; MURTHY, C. S. R. Techniques for interference mitigation using cooperative resource partitioning in multitier lte hetnets. **IEEE Systems Journal**, IEEE, v. 12, n. 1, p. 843–853, 2018.
- SMAILAGIC, A.; ETTUS, M. System design and power optimization for mobile computers. In: IEEE. **VLSI, 2002. Proceedings. IEEE Computer Society Annual Symposium on**. [S.l.], 2002. p. 15–19.
- TAN, C.; MA, A.; XING, Z. Research on the parallel implementation of genetic algorithm on cuda platform. **Computer Engineering and Science**, v. 31, n. 1, p. 68–72, 2009.
- TANENBAUM, A. S. a d. wetherall. **Computer networks. 5th ed. Boston: Pearson**, p. 317–320, 2011.
- TANG, W.; NGUYEN, T.-D.; HUH, E. N. A survey study on qoe perspective of mobile cloud computing. In: IEEE. **Information Science and Applications (ICISA), 2014 International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 1–4.
- THOMAS, L. **Salty, The Analytic Network Process: Decision Making with Dependence and Feedback**. [S.l.]: RwsPublications, 2001.

TRAPPEY, A. J. et al. Computer supported comparative analysis of technology portfolios for lte-a patent pools. In: IEEE. **Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2016 IEEE 20th International Conference on**. [S.l.], 2016. p. 209–214.

TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 1981.

URYVSKY, L.; MOSHYNSKA, A.; OSYPCHUK, S. Applied research of modulation-coding schemes selection algorithms effectiveness in 802.11 equipment. In: IEEE. **Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC SandT), 2017 4th International**. [S.l.], 2017. p. 405–409.

VADIVEL, R.; NARASIMHAN, B. A reliable flooding mechanism for mobile ad-hoc networks. In: IEEE. **Intelligent Computing Applications (ICICA), 2014 International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 301–304.

VISWANATHAN, H.; MUKHERJEE, S. Performance of cellular networks with relays and centralized scheduling. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, v. 4, n. 5, p. 2318–2328, Sept 2005. ISSN 1536-1276.

VODOPIVEC, S.; BEŠTER, J.; KOS, A. A survey on clustering algorithms for vehicular ad-hoc networks. In: IEEE. **Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2012 35th International Conference on**. [S.l.], 2012. p. 52–56.

WU, H.; WANG, Q.; WOLTER, K. Methods of cloud-path selection for offloading in mobile cloud computing systems. In: **4th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 443–448.

XU, M.; LIN, D. Low-complexity user selection strategies in the downlink of multi-user channels. In: **2006 8th International Conference Advanced Communication Technology**. [S.l.: s.n.], 2006. v. 1, p. 3 pp.–206.

XU, R.; WUNSCH, D. Survey of clustering algorithms. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 16, n. 3, p. 645–678, May 2005. ISSN 1045-9227.

YAN, H. et al. Striped-flooding: Improve scalability and energy efficiency of flooding algorithm in wireless sensor and actor networks. In: IEEE. **Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2016 IEEE 84th**. [S.l.], 2016. p. 1–5.

ZHANG, B. et al. An adaptive relay node selection algorithm based on opportunity. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, Springer, v. 2017, n. 1, p. 99, 2017.

ZHANG, R. et al. Lte-unlicensed: the future of spectrum aggregation for cellular networks. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 22, n. 3, p. 150–159, 2015.

ZHOU, K.; GUI, J.; XIONG, N. Improving cellular downlink throughput by multi-hop relay-assisted outband d2d communications. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, Nature Publishing Group, v. 2017, n. 1, p. 209, 2017.

ZHOU, Y. et al. A bare-metal and asymmetric partitioning approach to client virtualization. **IEEE Transactions on Services Computing**, IEEE, v. 7, n. 1, p. 40–53, 2014.

ZHOU, Z. et al. Energy-efficient cooperative communication based on power control and selective relay in wireless sensor networks. In: IEEE. **MILCOM 2007-IEEE Military Communications Conference**. [S.l.], 2007. p. 1–7.

ZHU, J.; HUAI, L.; CUI, R.-y. Research and application of hybrid random selection genetic algorithm. In: IEEE. **Computational Intelligence and Design (ISCID), 2017 10th International Symposium on**. [S.l.], 2017. v. 1, p. 330–333.

ZHUO, X. et al. Win-coupon: An incentive framework for 3g traffic offloading. In: IEEE. **Network Protocols (ICNP), 2011 19th IEEE International Conference on**. [S.l.], 2011. p. 206–215.