



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

SUZANE ALFAIA DIAS

UMA ESTRATÉGIA PARA ALOCAÇÃO
EFICIENTE DE RECURSOS MÓVEIS
UTILIZANDO SISTEMA FUZZY PARA UM
ESQUEMA DE PLANEJAMENTO E
PROVIMENTO DE QOS

Belém

Setembro/2019

SUZANE ALFAIA DIAS

**UMA ESTRATÉGIA PARA ALOCAÇÃO EFICIENTE DE
RECURSOS MÓVEIS UTILIZANDO SISTEMA FUZZY
PARA UM ESQUEMA DE PLANEJAMENTO E
PROVIMENTO DE QOS**

Monografia submetida como exigência parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Pará.

Orientador: Dr. Carlos Renato Lisboa
Francês

Coorientador: Dr. Tássio Costa de Carvalho

Belém
Setembro/2019

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

- D541e Dias, Suzane Alfaia
Uma Estratégia para Alocação Eficiente de Recursos
Móveis Utilizando Sistema Fuzzy para um Esquema de
Planejamento e Provimento de QoS / Suzane Alfaia Dias. —
2019.
68 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
Coorientador(a): Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2019.
1. UAV. 2. Cidades Inteligentes. 3. Qualidade de
Serviço. 4. Sistema Fuzzy. 5. Cobertura de Rede. I.
Título.

CDD 004.65

**“UMA ESTRATÉGIA PARA ALOCAÇÃO EFICIENTE DE RECURSOS
MÓVEIS UTILIZANDO SISTEMA FUZZY PARA UM ESQUEMA DE
PLANEJAMENTO E PROVIMENTO DE QOS”**

AUTORA: SUZANE ALFAIA DIAS

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

APROVADA EM: 25/09/2019

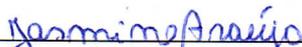
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
(Orientador – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho
(Co-Orientador – CCAST/UFPA)



Prof.ª Dr.ª Jasmine Priscyla Leite de Araújo
(Avaliadora Interna – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. José Jailton Henrique Ferreira Júnior
(Avaliador Externo ao Programa – CCAST/UFPA)

VISTO:

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

Dedico este trabalho a Deus e a minha família.

Agradecimentos

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Izaura e Fernando, e minha avó, Iracema, pelo imenso apoio e incentivo.

Ao meu namorado, pelo carinho e ajuda em diversos momentos.

Aos meus amigos que sempre acreditaram no meu potencial.

Sou grato pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo meus professores Renato Francês e Tássio Carvalho, orientador e coorientador do meu trabalho. Obrigado por me manter motivada durante todo o processo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro ao longo do programa.

Por último, quero agradecer também à Universidade Federal do Pará e todo o seu corpo docente.

*“Pés, para que os quero, se tenho
asas para voar?”*
“Frida Kahlo”

Resumo

Uma Estratégia para Alocação Eficiente de Recursos Móveis Utilizando Sistema Fuzzy para um Esquema de Planejamento e Provimento de QoS

Orientador: Carlos Renato Lisboa Francês

Co-orientador: Tássio Costa de Carvalho

Palavra-Chave: UAV, Cidade Inteligente, QoS, Sistema Fuzzy, Cobertura de Rede.

Com o crescimento dos dados móveis e as rápidas tendências de urbanização, haverá uma densidade extremamente alta de links de comunicação sem fio nas cidades, pois os usuários esperam um ambiente onde possam ter acesso a Internet aos seus dispositivos a qualquer hora e local. Devido aos problemas de despesa de capital (CAPEX) e despesas operacionais (OPEX), uma implantação de small cells não é uma estratégia econômica em cenários de tráfego de dados intenso, desta forma, a utilização de *Unmanned Aerial Vehicle* (UAVs) para melhorar a cobertura e o desempenho da rede torna-se viável. A fim de melhorar a Qualidade de Serviço (QoS) da rede, foi proposto um sistema computacional para realizar tomada de decisão que recebe como entrada informações da rede como vazão, taxa de perda de pacote e atraso, e retorna à qualidade da rede para aquele tipo específico de aplicação. O sistema como um todo verifica a necessidade ou não do uso de UAVs para melhorar a qualidade da rede e a cobertura da área de maior demanda. Caso haja a necessidade de UAVs, os mesmos são deslocados para as áreas de maior demanda. De outra forma, os UAVs permanecem na estação base. Através do método proposto houve melhorias significativas na QoS da rede, permitindo uma diminuição na perda de pacotes e no atraso, e um aumento na vazão.

Abstract

Mobile Resource Efficient Allocation Strategy using Fuzzy System for a Planning Scheme and Provisioning of QoS

Advisor: Carlos Renato Lisboa Francês

Co-advisor: Tássio Costa de Carvalho

Keywords: UAV, Smart City, QoS, Fuzzy System, Network Coverage.

With mobile data growth and rapid urbanization trends, there will be an extremely high density of wireless communication links in cities, therefore users expect an environment where they can access the Internet to their devices anytime, anywhere. Due to CAPEX/OPEX problems, a small cell deployment is not an economical strategy in scenarios of intense data traffic, so the use of UAVs to improve network coverage and performance becomes feasible. In order to improve the Quality of Service of the network, a computational system was proposed to perform decision making that receives as input network information such as network throughput, packet loss rate and delay, and returns to network quality for that specific type of network. application. The system as a whole verifies the necessity or not of using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to improve the quality of the network and the coverage of the area of greatest demand. If UAVs are required, they are shifted to the areas of greatest demand. Otherwise, the UAVs remain in the base station. Through the proposed method there were significant improvements in the Quality of Service (QoS) of the network, allowing a reduction in packet loss and delay, and an increase in the network throughput rate.

Sumário

1	Introdução	p. 1
1.1	Contextualização	p. 1
1.2	Motivação e Definição do Problema	p. 3
1.3	Objetivo	p. 4
1.4	Organização do Trabalho	p. 4
2	Referencial Teórico	p. 6
2.1	Veículos Aéreos não Tripulados	p. 6
2.2	Aplicações	p. 8
2.2.1	Voz Sobre IP	p. 8
2.2.2	Videoconferência	p. 9
2.3	Qualidade de Serviço	p. 10
2.4	Lógica Fuzzy	p. 12
2.4.1	Operações Básicas	p. 12
2.4.2	Variáveis Linguísticas	p. 13
2.4.3	Sistema Fuzzy	p. 15
2.4.3.1	Fuzzificação	p. 15
2.4.3.2	Base de Conhecimento Fuzzy	p. 18
2.4.3.3	Máquina de Inferência	p. 19
2.4.3.4	Defuzzificação	p. 19

2.5	Considerações Finais	p. 20
3	Trabalhos Relacionados	p. 21
3.1	Trabalhos Relacionados	p. 21
3.2	Considerações Finais	p. 28
4	Estratégias de Alocação de UAV	p. 29
4.1	Análise de QoS em Sistema Multimídia	p. 29
4.2	Sistema Fuzzy para Alocação de UAV	p. 30
4.3	Considerações Finais	p. 39
5	Avaliação de Desempenho	p. 40
5.1	Resultados	p. 40
5.2	Considerações Finais	p. 46
6	Conclusão	p. 47
6.1	Contribuições da Dissertação	p. 48
6.2	Trabalhos Futuros	p. 48
6.3	Dificuldades Encontradas	p. 49
	Referências	p. 50

Lista de Siglas

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BS	Estação Base
CAPEX	Despesas de Capital
COG	Método do Centro de Gravidade
DiffServ	Serviços Diferenciados
DSCP	Ponto de Código DiffServ
DSP	Processador de Sinal Digital
IBM	International Business Machines
IETF	Força Tarefa de Engenharia da Internet
IntServ	Serviços Integrados
IoT	Internet das Coisas
ITU-T	União Internacional de Telecomunicação
LoS	Linha de Visada Direta
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
MAC	Controle de Acesso ao Meio
MANETs	Redes Móveis Ad-hoc
MCU	Unidade de Controle Multiponto
MeOM	Método da Média dos Máximos
MPEG	Grupo de Especialistas em Imagem de Filmes
OPEX	Despesas Operacionais
OWD	Atraso Ponta a Ponta
PHY	Camada Física
QoS	Qualidade de Serviço
RSVP	Protocolo de Reserva de Recursos
SIP	Protocolo de Iniciação de Sessão
UAV	Veículos Aéreos Não Tripulados
UE	Equipamento de Usuário
VANETs	Redes Veiculares Ad-hoc
VoIP	Voz sobre IP

Lista de Figuras

Figura 1	Crescimento de Dispositivos e Conexões Móveis Globais, adaptado de [Cisco 2017]	2
Figura 2	Ilustração de Cenários UAV-BS, adaptado [Cicek et al. 2019]	8
Figura 3	Exemplo de Variável Linguística [Fonte: Autor]	14
Figura 4	Diagrama do Sistema Fuzzy [Fonte: Autor]	15
Figura 5	Função Triangular [Fonte: Autor]	16
Figura 6	Função Trapezoidal [Fonte: Autor]	17
Figura 7	Função Gaussiana [Fonte: Autor]	18
Figura 8	Arquitetura do Cenário Proposto [Fonte: Autor]	31
Figura 9	Fluxograma da Estratégia Proposta [Fonte: Autor]	33
Figura 10	Entrada da Vazão para Aplicação VoIP	34
Figura 11	Entrada da Perda de Pacote para Aplicação VoIP	34

Figura 12	Entrada da Atraso para Aplicação VoIP	35
Figura 13	Saída do QoS em Aplicação VoIP	35
Figura 14	Entrada da Vazão para Aplicação de Videoconferência	35
Figura 15	Entrada da Perda de Pacote para Aplicação de Videoconferência	36
Figura 16	Entrada da Atraso para Aplicação de Videoconferência	36
Figura 17	Saída do QoS em Aplicação de Videoconferência	36
Figura 18	Saída da Voz sobre IP Fuzzy 3D	37
Figura 19	Saída da Videoconferência Fuzzy 3D	38
Figura 20	Aplicação VoIP	42
Figura 21	Aplicação de Videoconferência	43
Figura 22	Aplicação VoIP	43
Figura 23	Aplicação de Videoconferência	44
Figura 24	Aplicação VoIP	44
Figura 25	Aplicação de Videoconferência	45
Figura 26	Aplicação VoIP	45
Figura 27	Aplicação de Videoconferência	46

Lista de Tabelas

Tabela 1	Comparação de Diferentes Redes Ad-hoc [Gupta et al. 2015]	7
Tabela 2	Scores MOS de alguns CODEC [CISCO 2006]	9
Tabela 3	Comparação de Resolução e Taxa de Bits para Codecs [IBM 2018]	10
Tabela 4	Exemplo de Base de Regras	14
Tabela 5	Síntese dos Principais Trabalhos Relacionados	27
Tabela 6	Medição da Qualidade de Serviço da Aplicação	30
Tabela 7	Base de Regras Fuzzy	38
Tabela 8	Parâmetros de Simulação	41

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Contextualização

O aumento do volume de serviços de dados e aplicativos, aliado ao crescimento acelerado das demandas por acesso sem fio, representam desafios para a próxima geração de redes móveis. Esta por sua vez, terá em sua arquitetura uma variedade de tecnologias, coexistindo em um ambiente de acesso sem fio heterogêneo [Zheng et al. 2018].

De acordo com o último relatório da Cisco [Cisco 2017] o tráfego de dados móveis cresceu 18 vezes nos últimos 5 anos. Com o crescimento dos dados móveis e as rápidas tendências de urbanização, haverá uma densidade extremamente alta de links de comunicação sem fio nas cidades. A Figura 1 mostra o crescimento dos dispositivos de 2017 até 2022. Nesse cenário, as bandas celulares de micro-ondas tradicionais ficarão saturadas e insuficientes para fornecer esse incremento de dados anualmente. Neste contexto, nos últimos anos, os pesquisadores têm investigado bandas de frequência no espectro de ondas milimétricas (mmWave), ou seja, de 30 a 300 GHz [Parada and Zorzi 2018]. Além disso, a implantação de novas small cells não se torna viável, pois possui um alto custo de CAPEX/OPEX, por conta da implantação e manutenções adicionais na rede. Portanto, torna-se complexo planejar e gerenciar multicamadas, ocasionando um aumento na interferência entre as células e coordenação no envio do sinal.

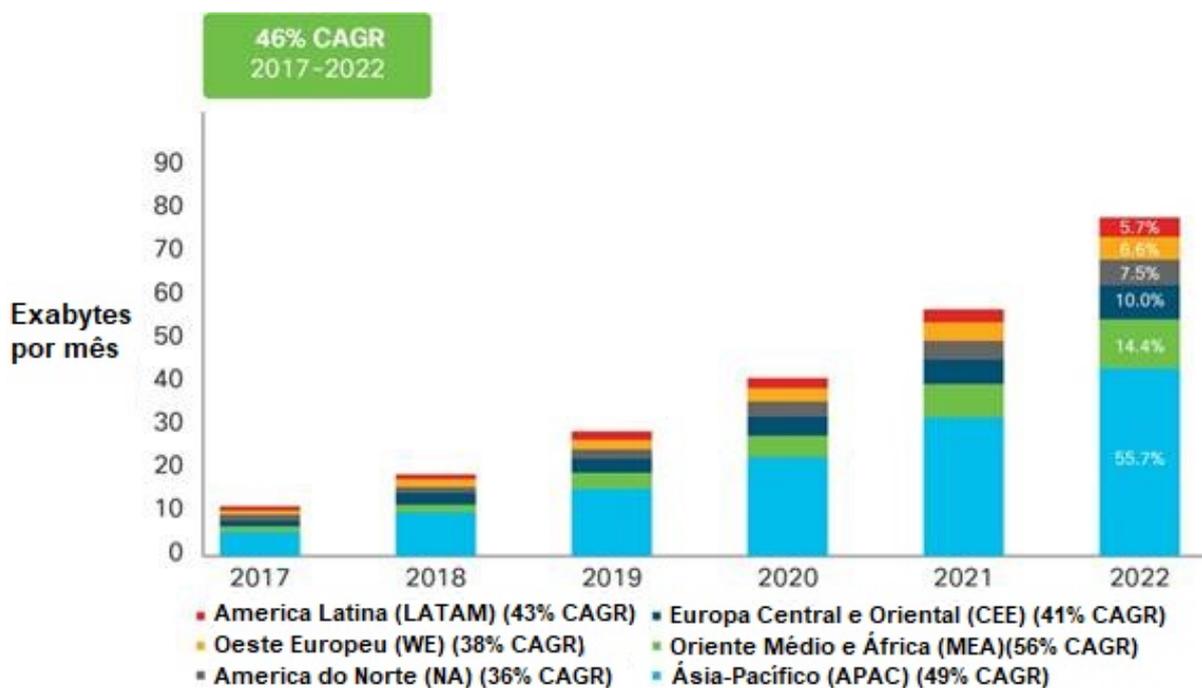


Figura 1: Crescimento de Dispositivos e Conexões Móveis Globais, adaptado de [Cisco 2017]

Com as mais diversas aplicações e a alta demanda de tráfego de dados, a rede *Long Term Evolution* (LTE) promete beneficiar a todos, propondo praticidade, alta velocidade e cobertura, baixa latência, interoperabilidade, entre outros. No que se refere as aplicações, são implantadas sob as situações e condições em que se encontram direta ou indiretamente conectadas com uma estação base (BS). Os UAVs são capazes de executar diversas aplicações civis e militares. Para atender a demanda crescente de tráfego de rede, os UAV são considerados uma forma promissora para estabelecer cobertura a redes celulares pequenas.

Os UAVs podem ser utilizados como retransmissores sem fio para estabelecer a conectividade de dispositivos sem fio terrestres e estender a cobertura da rede. Os UAVs também podem atuar como BSs aéreas móveis para estabelecer comunicações confiáveis tanto de *uplink* quanto de *downlink* para os usuários terrestres, aumentando sua capacidade das redes sem fio. A vantagem da utilização de BS aérea baseadas em UAV é a capacidade de se mover facilmente e de forma rápida. Além disso, a altitude dos UAVs permite links de comunicação de *Line of Sight* (LoS). Sua altitude e mobilidade ajustável, permite que os UAVs se movam em direção a potenciais usuários terrestres e estabeleça conexões confiáveis para os usuários com baixa potência de transmissão. Além do mais, os UAVs podem estabelecer uma solução econômica e com baixo consumo de energia para coletar dados de usuários móveis terrestres espalhados por uma área geográfica com infraestrutura terrestre limitada [Mozaffari et al. 2016b].

As redes móveis visam obter maior cobertura, oferecer suporte a mais dispositivos

e alcançar maior produtividade para atender ao aumento da demanda por dados. No entanto, as redes celulares tradicionais são implantadas normalmente com BSs fixas, que apresentam vários desafios. Primeiro, a sobrecarga sobre as BSs está se tornando cada vez mais grave com o aumento do tráfego de dados. Além disso, os usuários de borda geralmente sofrem de má QoS devido às longas distâncias das BSs. Como resultado, tem aumentado o interesse em redes celulares híbridas assistidas por UAVs [Cheng et al. 2018].

1.2 Motivação e Definição do Problema

A disponibilidade de comunicação sem fio confiável e escalonável é um fator essencial para fornecer muitos serviços interativos bem-sucedidos em cidades inteligentes, buscando melhorar a qualidade de vida dos moradores e visitantes. A comunicação sem fio pode ser fornecida e utilizada para diferentes aplicações usando diferentes tecnologias de comunicação, como Wi-Fi, GSM, 4G e links de satélite. Nesses casos, os UAVs equipados com dispositivos de suporte de comunicação sem fio podem ser implantados nessas áreas para fornecer cobertura básica ou adicional onde os usuários possam ter acesso à Internet aos seus dispositivos a qualquer hora e local [Zeng et al. 2016].

As redes LTE e o *LTE-Advanced* (LTE-A), fornecem serviços de alta taxa de dados na interface aérea garantindo a QoS da rede para os usuários. No entanto, devido ao crescente desenvolvimento da Internet móvel, o volume e as características do tráfego transportado pelas conexões sem fio mudaram drasticamente e levaram ao congestionamento da rede. A troca de informações multimídia por dispositivos móveis aumenta significativamente o volume de tráfego, desafiando o sistema celular existente. A situação pode se agravar com um grande número de dispositivos de comunicação transmitindo dados simultaneamente [Li and Cai 2017].

As implantações de novas BSs vem se tornando cada vez mais difícil e dispendiosa em cenários urbanos densos, principalmente quando se encontra um cenário em que há um aumento anormal de dispositivos, sobrecarregando a BS em um curto período de tempo. O grande fluxo de pessoas em cenários de eventos religiosos, entretenimentos ou de manifestações, trazem grandes problemas devido ao alto volume de tráfego gerado pelos usuários, sobrecarregando significativamente as redes de macro células baseadas em infraestrutura.

As redes celulares oferecem vários serviços de aplicações, entre eles a videoconferência e Voz sobre IP (VoIP). A QoS dessas redes é mensurada pela disponibilidade de recursos que serão destinadas para determinados grupos de usuários. Essas redes precisam de recursos que garantam uma QoS adequada para cada tipo de aplicação, sendo assim, a utilização de UAV para fornecer serviços de rede em áreas com grande demanda de tráfego de dados em períodos de curta duração, vem se tornando uma das estratégias mais efetivas em termos de confiabilidade, cobertura e economia.

A QoS disponível na rede é um dos principais fatores para garantir o sucesso em uma transmissão multimídia. Em sistemas multimídias torna-se fundamental sistemas que

gerem suporte de QoS, de forma que as aplicações utilizadas pelos usuários possam ter a qualidade desejada na utilização do serviço. Devido à crescente demanda de usuários em cidades inteligentes e para fornecer uma melhor qualidade de vida aos moradores e visitantes, onde possam estar conectados aos seus dispositivos em momentos de alto tráfego da rede, esta dissertação propõe uma metodologia de tomada de decisão utilizando sistema fuzzy para o deslocamento de UAV, que visa melhorar a QoS da rede para que os usuários possam ter acesso a rede em seus dispositivos a qualquer hora e local.

1.3 Objetivo

O principal objetivo dessa dissertação é propor uma metodologia de tomada de decisão com base em um sistema fuzzy que analisa a Qualidade de Serviço da rede para melhorar a área de cobertura que está sob alta demanda de usuários. Sendo assim, considerando como parâmetros de entrada a vazão, a taxa de perda de pacote e o atraso, o sistema decide a necessidade do envio do UAVs para as áreas de maior demanda, caso não haja necessidade o mesmo permanece na estação base. A proposta é dividida em partes chaves, descritas mais especificamente abaixo:

- Realizar um amplo levantamento do estado da arte das áreas utilizadas nesta dissertação;
- Definir os parâmetros de QoS para as aplicações de Voz sobre IP e Videoconferência;
- Implementar no sistema fuzzy os dados de QoS dos cenários das aplicações para tomada de decisão de alocação de UAVs;
- Validar a proposta a partir de Simulações;
- Divulgar os resultados e por meio de eventuais publicações acerca do tema proposto;

1.4 Organização do Trabalho

O restante do documento é organizado da seguinte maneira:

Capítulo 2: Apresentam-se neste capítulo os referencias teóricos.

Capítulo 3: São apresentados trabalhos relacionados e estado da arte. Propósitos baseados em diferentes abordagens são expostos. Além disso, é apresentado um resumo dos requisitos alcançados por cada propósito.

Capítulo 4: Neste capítulo são apresentados todos os parâmetros de rede, o modelo do sistema proposto e as métricas utilizadas para avaliação de desempenho abordada neste trabalho.

Capítulo 5: A metodologia, os resultados alcançados e uma respectiva discussão são apresentados neste capítulo.

Capítulo 6: Neste capítulo, demonstram-se as considerações finais da dissertação, assim como os trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Referencial Teórico

Neste capítulo são apresentados as tecnologias presentes no estado da arte adotadas para este trabalho. Inicia-se com as aplicações de VoIP e Videoconferência, em seguida apresentamos o QoS da rede com seus devidos parâmetros atraso, perda de pacote e vazão, e por fim descreve-se a técnica de inteligência computacional utilizada neste trabalho.

2.1 Veículos Aéreos não Tripulados

Os UAVs têm despertado grande interesse na rápida implantação de aplicações civis e militares. A comunicação UAV possui características próprias de canal, em comparação com os sistemas de celular ou satélite amplamente utilizados.

Em redes de comunicação terrestre sem infraestrutura fixa, as estações base móveis montadas em veículos aéreos não tripulados fornecem uma solução eficiente para obter conectividade sem fio. Em particular, as estações base móveis montadas em UAV podem ser implantadas para fornecer conectividade sem fio em áreas sem cobertura de infraestrutura, como grandes eventos ou cenas de desastre [Lyu et al. 2016].

Algumas semelhanças entre redes móveis ad-hoc (MANETs) e redes ad-hoc veiculares (VANETs) incentivam os pesquisadores a explorar a aplicabilidade do trabalho nessas áreas para redes UAVs, mas esses trabalhos não abordam completamente as características exclusivas das redes UAV. A Tabela 1 apresenta características importantes das redes MANETs, VANETs e UAV que trazem semelhanças e diferenças entre elas [Gupta et al. 2015].

Tabela 1: Comparação de Diferentes Redes Ad-hoc [Gupta et al. 2015]

	MANET	VANET	Rede UAV
Descrição	Nós sem fio móveis se conectam a outros nós dentro do alcance da comunicação de maneira ad-hoc (não é necessária nenhuma infraestrutura centralizada).	Redes ad-hoc nas quais os veículos são os nós móveis. A comunicação é entre veículos e entre veículos e unidades de beira de estrada.	Redes ad-hoc ou baseadas em infraestrutura de nós no ar. Comunicação entre UAVs e com a estação de controle.
Mobilidade	Lento. Velocidades típicas 2 m / seg. Movimento aleatório. Densidade variável, mais alta em alguns lugares populares.	Alta velocidade, típico 20-30 m / s nas rodovias, 6-10 m / s nas áreas urbanas. Previsível, limitado pelo layout da estrada, tráfego e regras de trânsito.	Velocidades tão altas quanto 100 m / s. O movimento pode estar em 2 ou 3 dimensões, geralmente controlado de acordo com a missão.
Topologia	Random (aleatório), ad-hoc.	Star (estrela) com infraestrutura na estrada e ad-hoc entre veículos.	Star (estrela) com um centro de controle, ad-hoc / mesh entre UAVs.
Alterações na Topologia	Nós dinâmicos entram e saem de forma imprevisível. Rede propensa a particionamento.	Mais dinâmico que MANETs. Movimento linear. Particionamento comum.	Estacionário, lento ou rápido. Pode ser voado em enxames controlados. Rede propensa a particionamento.
Restrições de Energia	A maioria dos nós é alimentada por bateria, portanto a energia precisa ser conservada.	Os dispositivos podem ser alimentados por bateria de carro ou com bateria própria.	UAVs pequenos são com restrição de energia. As baterias afetam o peso e o tempo de voo.
Casos de Uso Típicos em Domínios Públicos e Cívicos	- Distribuição de informações (emergências, publicidade, compras, eventos).	- Informações sobre trânsito e clima, avisos de emergência, serviços baseados em localização; - Infotainment.	- Operações de resgate; - Inquérito às culturas agrícolas; - Pesquisa de vida selvagem; - Vigilância de plataformas de petróleo.

Os primeiros usos do UAV foram caracterizados pelo uso de um único UAV grande para uma tarefa. A rede de comunicação baseada em UAV consistia em apenas um nó aéreo e um ou mais nós terrestres. Atualmente a maioria das aplicações pode ser realizadas de forma mais eficaz com sistemas multi UAV. Em sistemas multi UAV, os UAVs são menores e mais baratos e funcionam de maneira coordenada. Esses UAVs podem ser configurados para fornecer serviços cooperativamente e estender a cobertura da rede, agindo como UAV-BS.

A sua rápida implantação, realocação flexível e maiores chances de experimentar os recursos do caminho de propagação da LoS foram percebidas como oportunidades promissoras para prestar serviços em cenários atualmente difíceis de abordar o provisionamento de serviços, como eventos de curta duração e extremamente lotados. A Figura representa vários cenários em que um UAV-BS podem influenciar na melhoria da QoS, onde ocorrem várias demandas inesperadas (eventos esportivos, shows, desastres naturais) [Cicek et al. 2019].

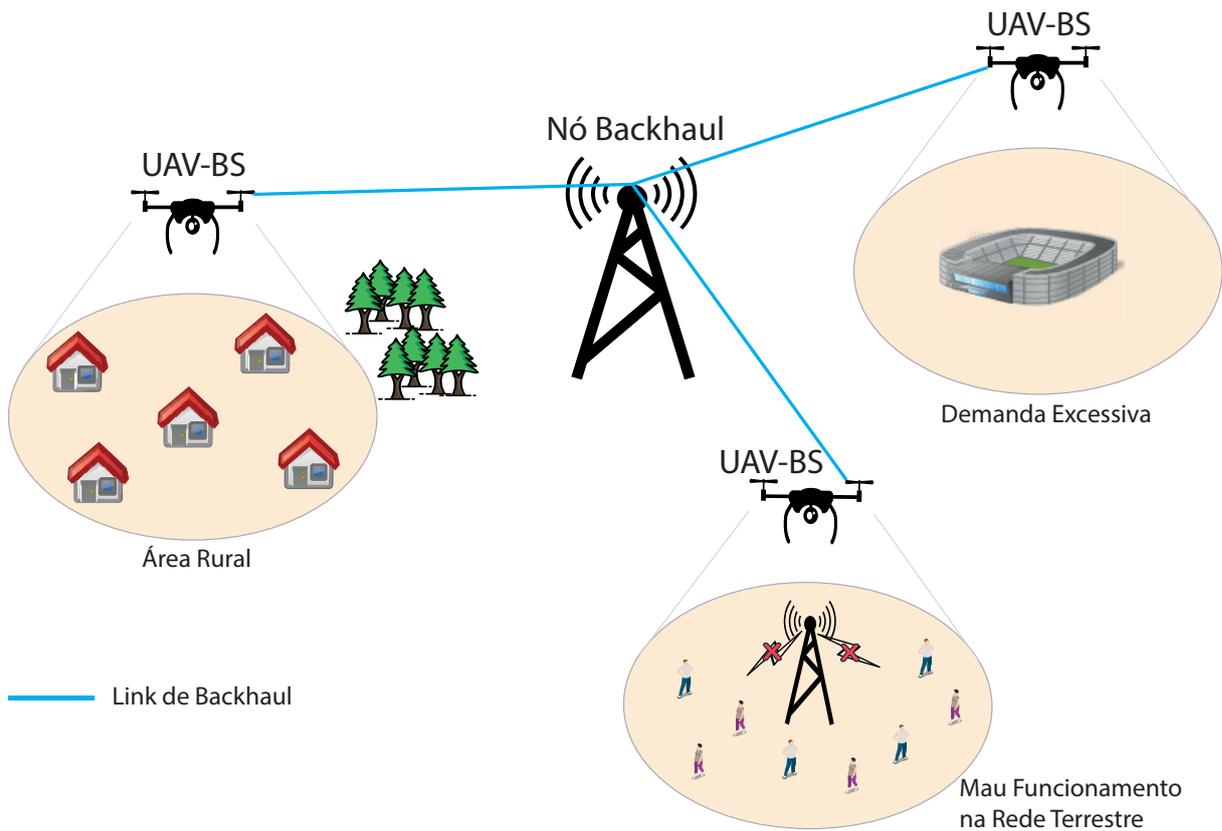


Figura 2: Ilustração de Cenários UAV-BS, adaptado [Cicek et al. 2019]

2.2 Aplicações

Nesta seção será descrita as aplicações de voz sobre IP e videoconferência que foram utilizadas neste trabalho, afim de proporcionar um melhor entendimento da proposta. Será destacado suas respectivas recomendações e normas.

2.2.1 Voz Sobre IP

O VoIP é uma tecnologia emergente que permite usar sua conexão de Internet de banda larga para fazer e receber chamadas de voz e videofone. As chamadas baseadas na Internet são menos caras do que as chamadas tradicionais e às vezes são gratuitas, e muitos serviços de comunicação baseados em VoIP são compatíveis com a rede global de telefonia. O usuário pode realizar ligações telefônicas por meio de celulares, tablet e computadores pessoais. O VoIP consiste no uso de dados de rede que utiliza os conjuntos de protocolos IP para transmissão de pacote de dados em tempo real. A forma de executar as chamadas em uma rede de dados IP, traz grandes benefícios como reduzir despesas, onde as chamadas iram percorrer pela rede de dados e não pelas companhias telefônicas.

Nas atuais implementações de VoIP, os sinais analógicos de voz são amostrados e codificados usando o codec e depois encapsulados em um pacote IP e transportados

por cabos de dados ou pela infraestrutura da Internet da mesma forma que os pacotes de dados são transportados [Shaw and Sharma 2016].

O sinal de voz utiliza uma frequência de banda de 4 kHz, para digitalizar esse sinal utiliza-se o teorema de amostragem de Nyquist-Shannon com uma taxa de amostragem de 8 kHz para que o sinal possa se recuperar adequadamente. Como cada amostra é representada por byte, que são 8 bits, com até 256 valores distintos, em que cada canal necessita de uma banda de 64 kbit/s, ou seja, 8.000 amostras x 8 bits. Esse modelo atende a norma de digitalização do sinal de voz da recomendação da União Internacional de Telecomunicação (ITU-T) G.711 [Cisco 2016].

Um dos componentes principais para a transmissão de voz em uma rede de dados são os codecs, estes componentes são responsáveis por converter um sinal analógico para um sinal digital, onde possa ocorrer a transmissão em uma rede de dados, realizando amostragens periódicas no sinal de voz. Esses componentes são implantados através do processador de Sinal Digital (DSP). Uma avaliação de desempenho comum usada para determinar a qualidade do som produzida por codec específicos é o Mean Opinion Score (MOS), a Tabela 2 mostra os Scores MOS de alguns CODEC [CISCO 2006].

Tabela 2: Scores MOS de alguns CODEC [CISCO 2006]

Codec	Taxa de bits (kbps)	MOS Score	Atraso (ms)
G.711 PCM	64	4.1	0.75
G.726 ADPCM	32	3.85	1
G.728 LD-CELP	16	3.61	3 a 5
G.729 CS-ACELP	8	3.92	10
G.729 x 2 Encodings	8	3.27	10
G.729 x 3 Encodings	8	2.68	10
G.729a CS-ACELP	8	3.7	10
G.723.1 MP-MLQ	6.3	3.9	30
G.723.1 ACELP	5.3	3.65	30

2.2.2 Videoconferência

A videoconferência permite que usuários, possam se comunicar em tempo real com outras pessoas que se encontram em locais diferentes através de áudio e vídeo por meio de dispositivos celulares, tablet ou computadores possibilitando o compartilhamento de dados sem a necessidade de estarem no mesmo ambiente. Esse meio de comunicação é bastante utilizado por empresas para a realização de reuniões ou de uso pessoal do usuário.

Os equipamentos de videoconferência disponíveis no mercado possuem a capacidade de estabelecer uma comunicação de ponto a ponto, e para que esses pontos se conectem simultaneamente é necessário a utilização do equipamento de Unidade de Controle Multiponto (MCU). Para que ocorra o funcionamento da videoconferência além da

utilização do MCU é necessário outros componentes, que são especificados pelo padrão H.323 do ITU-T e o Protocolo de Iniciação de Sessão (SIP).

O Grupo de Especialistas em Codificação de Vídeo da ITU-T e o Grupo de Especialistas em Imagem de Filmes (MPEG) da International Standards Organization focaram na família H.26x de padrões de compressão e na série MPEG de padrões de compressão, respectivamente. As duas organizações formaram uma equipe de vídeo conjunta e desenvolveram o popular padrão H.264 / MPEG-4 Advanced Video Coding⁸ para transmissão e armazenamento de vídeo. Existem outros CODECs não padronizados que são o Windows Media Video, o QuickTime e o Real Video da Microsoft, Apple e Real Networks.⁹ CODECs, esses padrões são geralmente preferidos porque são intensamente revisados, e mais frequentemente entre plataformas, a Tabela 3 mostra a comparação da resoluções e taxas de bits dos codecs [Liu et al. 2011].

Tabela 3: Comparação de Resolução e Taxa de Bits para Codecs [IBM 2018]

	Taxa de Bits	Resolução
H.261	64 Kbps–1.2 Mbps	176 x 144, 352 x 288
H.263	64 Kbps–1.2 Mbps	128 x 96, 704 x 576, 1408 x 1152
MPEG-2/H.262	5–25 Mbps	352 x 420 por 1920 x 1080
H.264/MPEG-4 AVC	40 kbps–10 Mbps	176 x 144 por 1920 x 1080
DV	30 Mbps	720 x 480
HDV	25 Mbps	1080i

2.3 Qualidade de Serviço

A QoS é a capacidade da rede para garantir o melhor serviço de tráfego de dados na rede sobre várias tecnologias subjacentes. Além disso, a QoS possuem tecnologias que permitem que os aplicativos possam receber os níveis de serviço através da capacidade de Vazão de dados, Perda de Pacote, Atraso e Variação da Latência (Jitter), esses recursos oferecem um serviço melhor e previsível [RNP 2012].

Segundo o Força Tarefa de Engenharia da Internet (IETF), definem-se duas arquiteturas para QoS, os Serviços Integrados (IntServ) e Serviços Diferenciados (DiffServ). O IntServ utiliza o Protocolo de Reserva de Recursos (RSVP) para indicar necessidades QoS dos dispositivos de aplicação através da rede, fazendo com que possíveis congestionamentos da rede sejam eliminados. O DiffServ em vez de indicar as exigências de QoS, ele utiliza um Ponto de Código DiffServ (DSCP) no cabeçalho de IP para mostrar os níveis de QoS necessários para uma determinada aplicação [Teleco 2019].

As classes de QoS devem ser definidas por um conjunto comum de parâmetros para abordar todas as classes de serviço e parâmetros de QoS para todos os serviços. Especificamente, é importante que os sistemas IMT-Advanced possam [ITU-T 2007]:

- Ter a capacidade de negociar a classe de QoS associada a cada fluxo de serviço.
- Permitir que o conjunto de classes de QoS seja definido pelo operador do sistema em termos de atributos de QoS (juntamente com o intervalo de valores permitidos) que incluem, mas não se limitam ao seguinte:

- Taxa de dados, desde a menor taxa de dados suportada até a taxa máxima de dados suportada pelo Controle de Acesso ao Meio (MAC)/ Camada Física (PHY);
- Latência, atraso de entrega variando de 10 ms a 10 segundos;
- Taxa de erro de pacote, após todas as correções fornecidas pelas camadas MAC / PHY, variando de 10E-8 a 10E-1;
- Variação no atraso (jitter), variando de 0 a 10 segundos.

- Suportar (mas não exigir) implementações PHY / MAC que satisfaçam as características de QoS.

As aplicações multimídia em rede, que formam uma grande parte do tráfego atual da Internet, apresentam desafio significativo, pois exigem garantias de qualidade da rede. A implantação de dispositivos multimídia depende da aplicação e do ambiente, isto significa que cada nó sensor deve ser modificado de forma distinta de acordo com os cenários de aplicação. Por exemplo, em aplicações de segurança e emergência, a manutenção de baixo custo é necessária, enquanto as aplicações urbanas são mais propensas a riscos de interferência ambiental. Essas características, desafios e fatores dependem da natureza do fluxo de dados de tráfego multimídia em tempo real, como os requisitos de QoS específicos da aplicação, alta largura de banda, atraso fim-a-fim tolerável, restrições de recursos, técnicas de codificação de origem de multimídia [Hasan et al. 2017].

Um dos parâmetros principais de QoS que atuam com maior relevância em aplicações multimídias são os parâmetros de rede entre eles estão, Atraso, Vazão e Taxa de Perda de Pacote.

- **Vazão:** é a taxa de entrega bem-sucedida de dados em um canal de comunicação, entre um nó da rede para outro em um determinado período de tempo. A vazão também pode ser expressa pelas unidades (Kbps) e (Mbps).

$$R = I/T \tag{2.1}$$

onde, I é o número de unidades que estão atualmente contidas em um processo de negócios. R (vazão) é a taxa na qual o número de unidades passa pelo processo por unidade de tempo. A taxa é medida em unidades / por tempo (por exemplo, unidade / minuto). T é o tempo que as unidades gastam no processo de negócios do começo ao fim.

- Atraso: é o intervalo de tempo que um pacote leva para transmissão de dados entre sua origem até o seu destino. Um dos principais valores de multimídia em tempo real é o atraso ponta a ponta (OWD), onde o atraso percorre o caminho de nó a outro, através da Equação 2.2:

$$\Delta_{t_{OWD}} = t_{B1} - t_{A0} \quad (2.2)$$

$\Delta_{t_{OWD}}$ variação do tempo que mensagem percorre o caminho de um nó a outro. t_{B1} é tempo que as unidades gastam no processo de negócios do começo ao fim.

- Perda de Pacote: é a taxa de pacotes perdidos em uma transferência de dados entre nó origem e nó destino, ocorre quando a capacidade de armazenamento nas filas dos roteadores esgota ocasionando o descarte dos pacotes. Normalmente para a utilização de transmissão de vídeo e áudio, é utilizado o protocolo UDP, que não retransmite pacotes. O cálculo para taxa de perda de pacote é feito pelo receptor como razão entre número de pacotes perdidos e número de pacotes transmitidos.

2.4 Lógica Fuzzy

A lógica Fuzzy é baseada na teoria dos conjuntos nebulosos, que é uma generalização da teoria clássica dos conjuntos [Zadeh 1965]. O termo fuzzy se refere a coisas que não são claras ou são vagas. No dia a dia, muitas vezes encontramos uma situação em que não podemos determinar se o estado é verdadeiro ou falso. A lógica fuzzy fornece uma flexibilidade muito valiosa para o raciocínio. Dessa forma, podemos considerar as imprecisões e incertezas de qualquer situação. Isso é uma simplificação grosseira dos problemas do mundo real e baseada em graus de verdade, em vez da lógica booleana verdadeira ou falsa.

2.4.1 Operações Básicas

As operações teóricas da lógica clássica, como a interseção, a união e o complemento, são estendidas à lógica fuzzy, de modo a fazer coisas análogas com os conjuntos fuzzy. Um conjunto nebuloso A em um universo do discurso U é caracterizado por uma função de associação μ_A que recebe os valores no intervalo de unidade $[0, 1]$ [Mizumoto and Tanaka 1981].

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1] \quad (2.3)$$

Segundo [Bertoni et al. 2005] as operações dos conjuntos difusos A e B estão listadas a seguir.

- União: A função de pertinência $\mu_A \cup \mu_B$ é definida ponto a ponto para todo $u \in U$

por:

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}$$

ou

$$\mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) \vee \mu_B(u) \quad (2.4)$$

- Interseção: A função de pertinência $\mu_A \cap \mu_B$ é definida ponto a ponto para todo $u \in U$ por:

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}$$

ou

$$\mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(u) \quad (2.5)$$

- Complemento: A função de pertinência μ_{A^c} do complemento de um conjunto fuzzy A é definida ponto a ponto para todo $u \in U$ por:

$$\mu_{A^c}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (2.6)$$

2.4.2 Variáveis Linguísticas

Variáveis Linguísticas são descritas por conjuntos fuzzy em uma linguagem natural. Digamos que V é uma variável (qualidade de serviço, valor de imposto etc.), X o intervalo de valores da variável e Z um conjunto finito ou infinito de conjuntos difusos. Uma variável linguística corresponde ao (V, X, Z) [Dernoncourt 2013]. Por exemplo, as notas de uma turma de ensino médio poderia ser uma variável linguística assumindo valores baixa, média, alta, etc. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos fuzzy, a Figura 3 mostra esse exemplo.

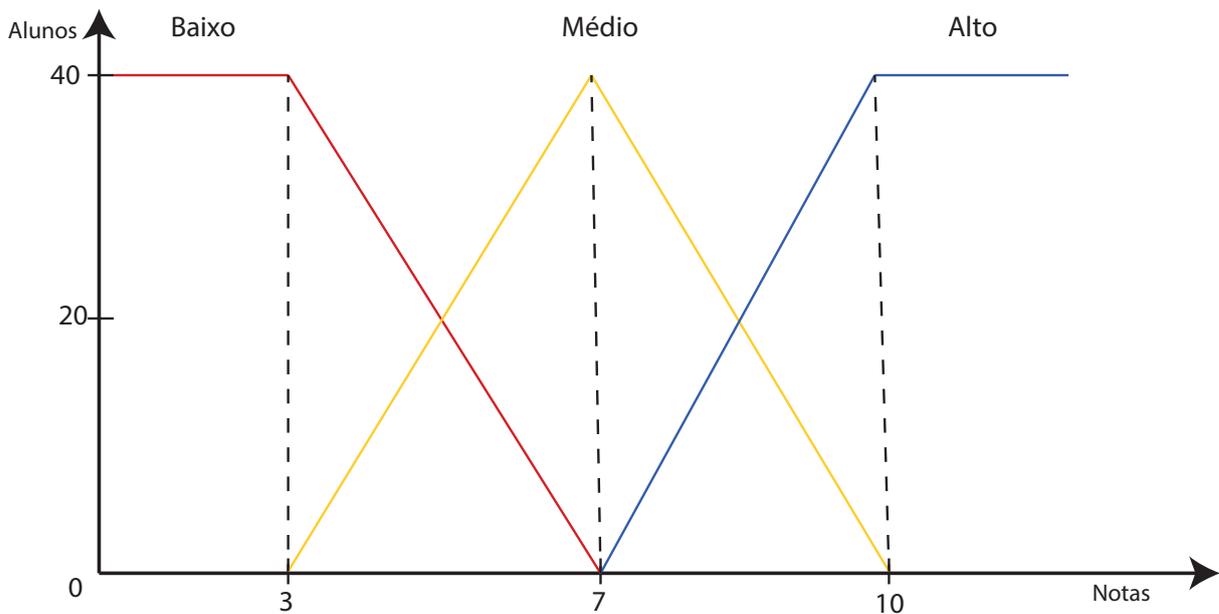


Figura 3: Exemplo de Variável Linguística [Fonte: Autor]

O conhecimento especializado para essas variáveis pode ser formulado como regras, exemplo *SE* Grupo A for Baixo *E* Grupo B for Médio *E* Grupo C for Baixo *ENTÃO* a Média da Turma é Baixa. As regras podem ser combinadas em uma Tabela chamada base de regras.

Tabela 4: Exemplo de Base de Regras

<i>N</i>	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Média da Turma
1	Baixa	Média	Baixa	Baixa
2	Baixa	Média	Média	Média
3	Média	Baixa	Média	Média
4	Média	Alta	Alta	Alta
5	Alta	Média	Alta	Alta
...
X	Alta	Alta	Alta	Desconhecido

As regras linguísticas que descrevem o sistema de controle consistem em duas partes, um bloco antecedente (entre *SE* e *ENTÃO*) e um bloco conseqüente (seguido de *E*). Dependendo do sistema, pode não ser necessário avaliar todas as combinações de entradas possíveis, pois algumas podem ocorrer raramente ou nunca. Ao fazer esse tipo de avaliação, geralmente feito por um operador experiente, menos regras podem ser avaliadas, simplificando a lógica de processamento e talvez até melhorando o sistema de lógica fuzzy [Hellmann 2001].

2.4.3 Sistema Fuzzy

A lógica do sistema fuzzy permite um grau de incerteza, o que a torna ideal para variáveis difusas. Um conjunto difuso tem uma função de associação associada que define um grau de associação para cada elemento da série definida que pode variar dentro do intervalo real $[0,1]$. O valor obtido da função de associação para um determinado elemento mostra como esse elemento pertence ao conjunto. Assim, um elemento pode pertencer a um conjunto fuzzy em vez de outro.

Os sistemas fuzzy são estruturas baseadas em técnicas difusas orientadas para o processamento de informação, onde o uso da teoria dos conjuntos clássicos e da lógica binária é impossível ou difícil. A sua característica principal envolve a representação do conhecimento simbólico em uma forma de regras condicionais [Robert Czabanski 2017]. Na Figura é mostrado um diagrama de sistema fuzzy.

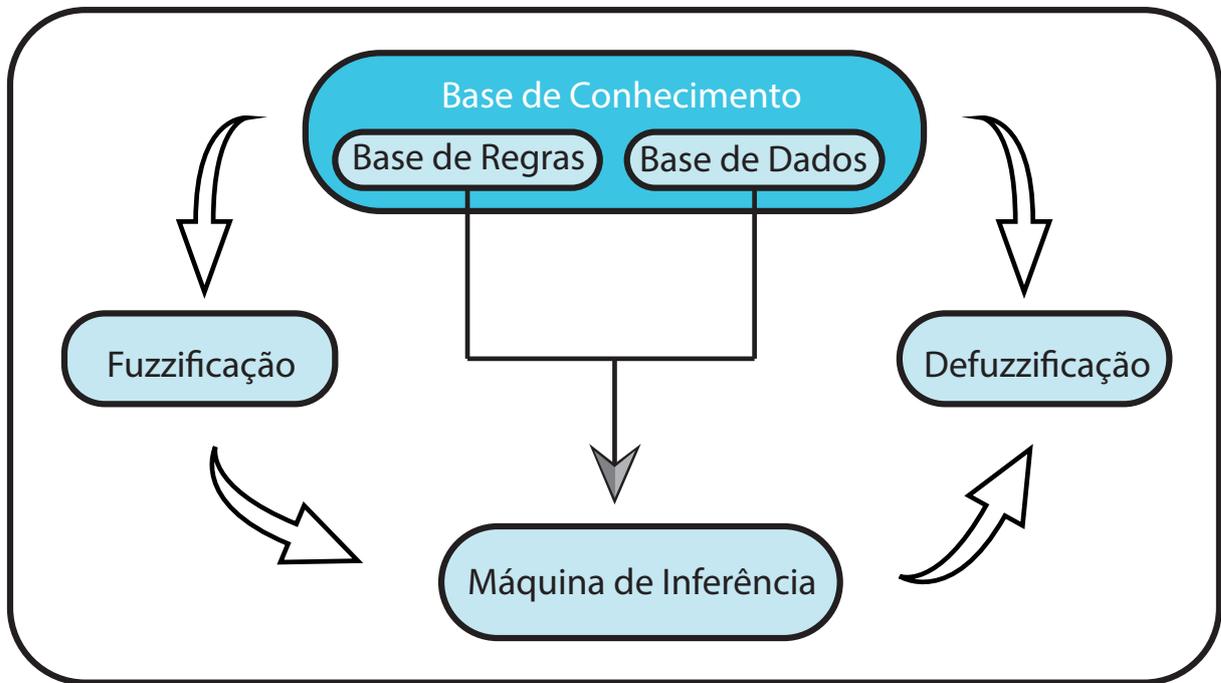


Figura 4: Diagrama do Sistema Fuzzy [Fonte: Autor]

2.4.3.1 Fuzzificação

A fuzzificação tem a função de converter os valores de entrada do sistema para termos linguísticos representados por vários conjuntos fuzzy, esse processo de conversão de entrada é realizado pelo uso de informações na base de conhecimento do sistema fuzzy. Embora exista na literatura vários tipos de funções de pertinência as mais utilizadas no processo de fuzzificação são as gaussianas, triangulares e trapezoidais. Essas podem ser facilmente implantadas por controladores incorporados [Kayacan and Khanesar 2016].

A função de pertinência desempenha um papel fundamental na teoria de repre-

sentação do conjunto fuzzy, ou seja, para cada conjunto é criada uma função de pertinência, que indica o grau de pertinência de cada elemento. Essas funções são criadas de forma a representar conceitos imprecisos. As funções de associação nos permitem representar graficamente um conjunto difuso. O eixo x representa o universo do discurso, enquanto o eixo y representa os graus de associação no intervalo $[0,1]$. [Bertoni et al. 2005].

A função de pertinência triangular é definida da seguinte forma:

É definida por um limite inferior a , um limite superior b e um valor m , onde $a < m < b$

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{se } x \in [m, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (2.7)$$

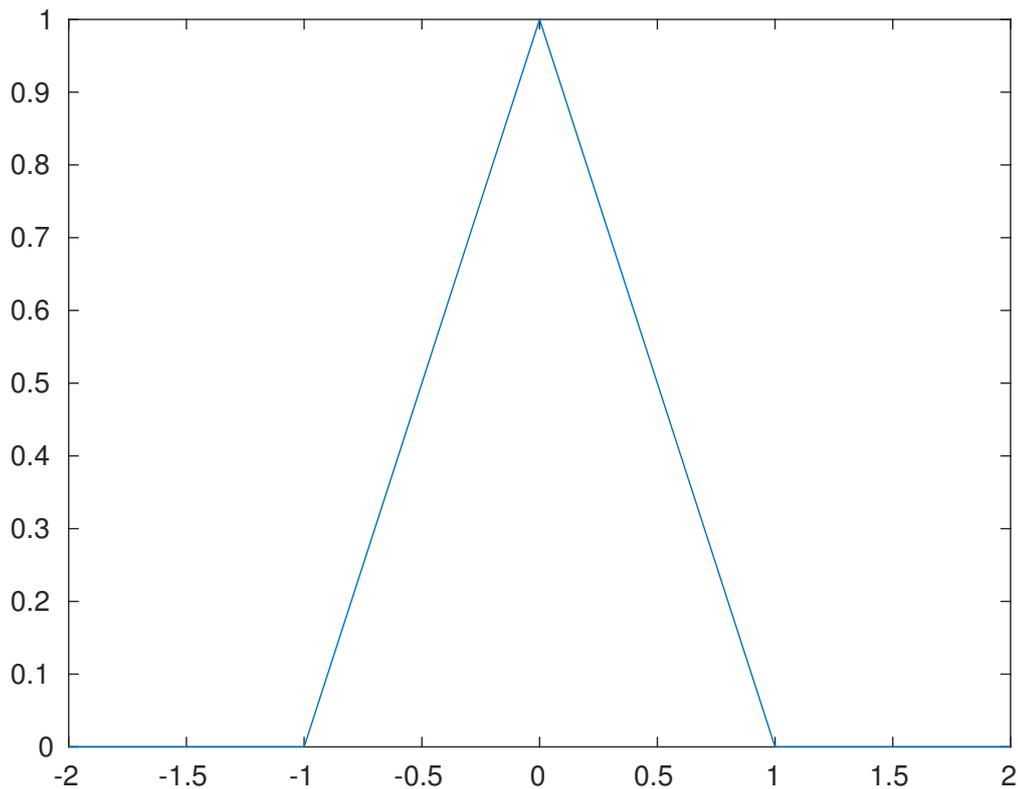


Figura 5: Função Triangular [Fonte: Autor]

A função de pertinência trapezoidal é definida da seguinte forma:

É definida por um limite inferior a , um limite superior d , um limite inferior de

suporte b e um limite superior de suporte c , onde $a < b < c < d$.

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1, & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x > b \end{cases} \quad (2.8)$$

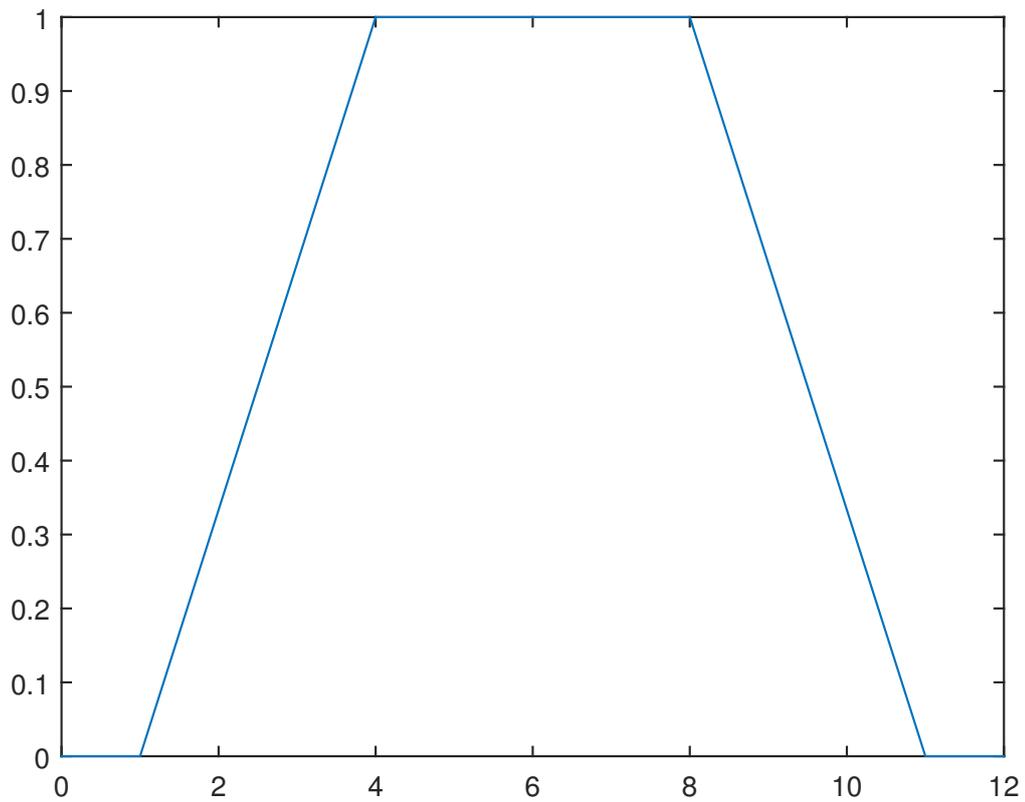


Figura 6: Função Trapezoidal [Fonte: Autor]

A função de pertinência gaussiana é definida da seguinte forma:

É definida por um valor central m e um desvio padrão $k > 0$

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2k^2}} \quad (2.9)$$

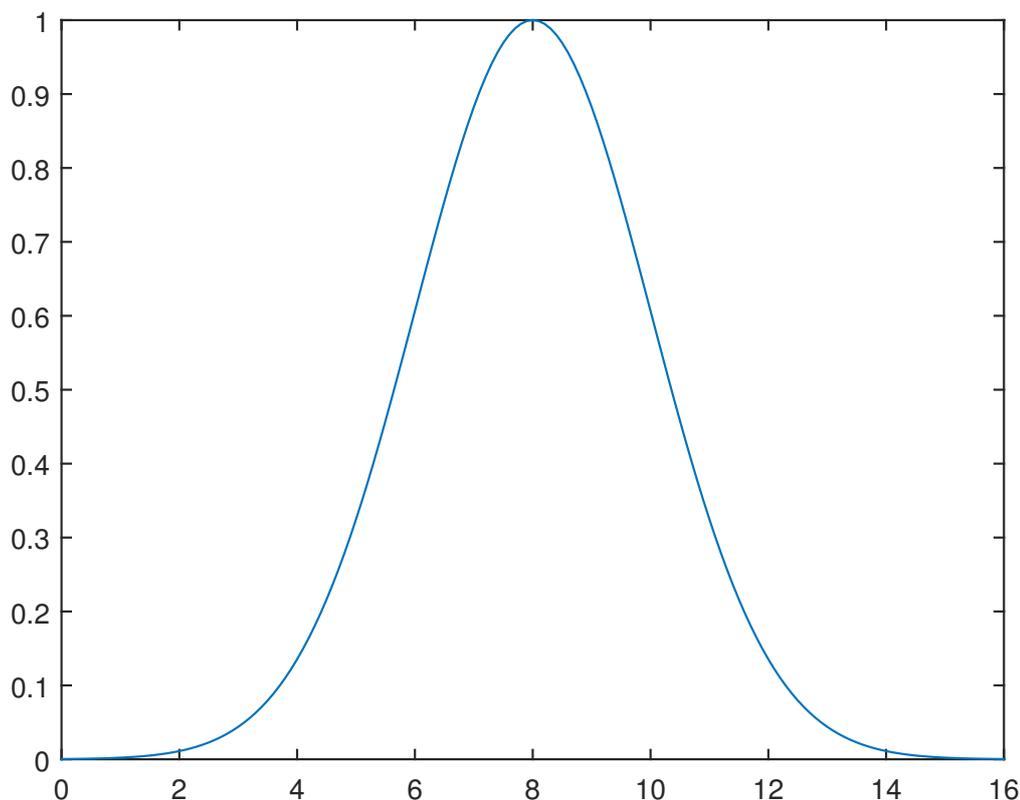


Figura 7: Função Gaussiana [Fonte: Autor]

2.4.3.2 Base de Conhecimento Fuzzy

A base de conhecimento fuzzy é formado por uma base de regra que contém um conjunto de regras fuzzy e uma base de dados. A base de regras contém as regras que devem ser usadas na tomada de decisões. Essas regras geralmente são baseadas na experiência e intuição pessoais. No entanto, em alguns casos, as regras podem ser obtidas usando redes neurais, algoritmos genéticos ou algumas abordagens empíricas. A base de conhecimento fuzzy é baseada pela regra de produção nebulosa, que possui duas partes principais [Kayacan and Khanesar 2016]:

SE (antecedente) ***ENTÃO*** (consequente)

Embora as partes antecedente e consequente tenham argumentos únicos, uma regra pode ser escrita com vários argumentos. Enquanto argumentos únicos são usados em sistemas SISO, vários argumentos são usados para lidar com sistemas MIMO ou MISO [Kayacan and Khanesar 2016].

2.4.3.3 Máquina de Inferência

Inferência Fuzzy é o processo de formular o mapeamento de uma determinada entrada para uma saída usando lógica fuzzy. O mapeamento fornece uma base a partir da qual decisões podem ser tomadas ou padrões discernidos. O processo de inferência difusa envolve todas as partes descritas, ou seja, funções de associação, operadores lógicos fuzzy e regras *SE-ENTÃO*. Dois tipos mais conhecidos de sistemas de inferência fuzzy são o tipo Mamdani proposto em 1975 e tipo Sugeno introduzido em 1985. Esses dois tipos de sistemas de inferência variam um pouco na maneira como as saídas são determinadas [Kalogirou 2014].

A inferência do tipo Mamdani espera que as funções de associação de saída sejam conjuntos fuzzy. Após o processo de agregação, há um conjunto fuzzy para cada variável de saída, que precisa de defuzzificação. O método Sugeno de inferência fuzzy é semelhante ao método Mamdani em muitos aspectos. A principal diferença entre as inferências fuzzy do tipo Mamdani e Sugeno é que as funções de associação de saída são lineares ou constantes apenas para a inferência fuzzy do tipo Sugeno [Kalogirou 2014]. Neste trabalho utilizou-se o método mamdani, pois permite descrever a experiência de forma mais intuitiva, mais semelhante à humana e permite obter um termo escalar em um termo linguístico.

As decisões fuzzy são produzidas nesse processo usando as regras na base de regras. Durante esse processo, cada regra é avaliada separadamente e, em seguida, é tomada uma decisão para cada regra individual. Essas relações são compostas de expressões fuzzy que são conectadas por operadores lógicos fuzzy. Três operadores lógicos importantes são comumente aplicados em uma relação nebulosa: interseção (*AND*), união (*OR*) e complemento (*NOT*) [Kayacan and Khanesar 2016].

2.4.3.4 Defuzzificação

Como em todos os operadores fuzzy, o designer do sistema nebuloso deve escolher entre várias definições possíveis de defuzzificação. Será apresentado brevemente os dois principais métodos de defuzzificação, o método da média dos máximos (MeOM) e o método do centro de gravidade (COG) [Dernoncourt 2013].

No método MeOM, o valor de defuzzificação é considerado o elemento com os valores mais altos de associação. Quando há mais de um elemento com valores máximos de associação, o valor médio dos máximos é obtido. Suponha-se que A é um conjunto fuzzy com a função de associação $\mu_A(x)$ definido sobre $x \in X$, onde X é um universo de discurso. O valor de defuzzificação é digamos x^* de um conjunto difuso [Debasis Samanta], e é definido como:

$$x^* = \frac{\sum_{x_j \in M} x_j}{|M|} \quad (2.10)$$

A defuzzificação de COG é mais comumente usada. Este método fornece um valor

nítido com base no centro de gravidade do conjunto difuso. A área total da distribuição da função de associação usada para representar a ação de controle combinada é dividida em várias subáreas. A área e o centro de gravidade ou centroide de cada subárea são calculados e, em seguida, é somado o somatório de todas essas subáreas para encontrar o valor desfocado para um conjunto difuso discreto [Debasis Samanta].

$$x^* = \frac{\int x\mu_A(x)dx}{\int \mu_A(x)dx} \quad (2.11)$$

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo, foi apresentado o levantamento do estado da arte das tecnologias que foram relevantes para a construção deste trabalho. O próximo capítulo, será apresentado os trabalhos relacionados a esta pesquisa.

CAPÍTULO 3

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo será apresentado o levantamento dos trabalhos relacionados, que contribuíram para a pesquisa do trabalho. Será falado sobre tomadas de decisões, estratégias que cada autor tomou para melhorar a cobertura da rede e a contribuição do trabalho em relação aos trabalhos relacionados.

3.1 Trabalhos Relacionados

A crescente evolução de rede orientada para UAV tem se tornando uma solução viável para utilização de nós aéreos intermediários entre os níveis de macro e pequena célula para melhorar a cobertura e a capacidade da rede existente. Tal cobertura e a capacidade da rede podem ser melhoradas sem o uso dos UAVs, mas com o aumento da demanda de Equipamento de Usuário (UE) a implantação de small cells não é uma estratégia econômica devido aos problemas de CAPEX/OPEX.

As redes UAVs vem se tornando um caminho promissor para satisfazer a crescente demanda de tráfego nas redes móveis. Alguns estudos vêm trazendo soluções de cobertura de rede utilizando UAVs com serviços de transmissão sem fio com diferentes classes de serviço. Essa decisão é explorada em [Sharma et al. 2016] que investiga o problema da atribuição de UAV baseada na demanda do usuário em áreas geográficas sujeitas a altas demandas de tráfego. Uma abordagem de função de custo com base em rede neural foi formulada na qual os UAVs correspondem a uma área geográfica específica. Foi mostrado que alavancar vários UAVs não apenas fornece conectividade de longo alcance, mas também melhora o balanceamento de carga e descarregamento de tráfego. Os resultados de simulação demonstraram que a abordagem proposta produz melhorias significativas em termos de eficiência espectral do 5º percentil em até 38% e atrasos reduzidos em até 37,5%.

O modelo proposto pelos autores visa a fornecer dados contínuos entre macro-célula e UEs. Os UAVs aprimoram ainda mais o balanceamento de carga, formando vários links intermediários entre a macro célula e os UEs de célula pequena. O modelo proposto se concentra nos links UAV para UE e não nos links de capacidade de backhaul de Macro BS para UAV. Com um aumento contínuo de vários usuários na cobertura de uma célula pequena específica, torna-se quase impossível manter a conectividade sem perda de dados. Esse é um problema para redes 5G de geração futura, em que a demanda é definida como maior que a capacidade disponível. Este é o foco do trabalho proposto que aproveita a formação de UAVs para uma rede confiável e com balanceamento de carga. A abordagem dos autores aproveita uma estrutura baseada em custos que utiliza padrões de rede neural para identificar áreas com alta demanda.

A estabilidade da rede é alcançada minimizando uma função de custo associada às áreas de demanda e aos UAVs implantados. Um limite de atraso é definido para analisar o desempenho da rede, definido como o estado da rede com atraso mínimo no fornecimento de cobertura de capacidade em áreas de alta demanda, erros mínimos no mapeamento de UAVs para determinada área de demanda e alta confiabilidade em termos de entrega da taxa de dados.

Em busca de melhorar a cobertura e o aprimoramento da capacidade das redes heterogêneas 5G. [Sharma et al. 2017] propuseram duas soluções diferentes. Um deles se concentra na solução de problema de decisão para Macro BS, que precisa decidir onde colocar os UAVs, e o segundo se concentra na formação de rede cooperativa que realiza negociações de rede entre os UAVs para lidar também com uma área de demanda específica quanto ao balanceamento de carga. As soluções para esses problemas são fornecidas usando as abordagens de dominância prioritária. Os resultados obtidos para a abordagem proposta mostram melhorias significativas em termos de taxa de transferência da rede, eficiência espectral do 5º percentil, cobertura da rede, razão sinal/ruído, atrasos na rede, precisão no mapeamento das áreas de demanda com os UAVs e taxa de entrega. A abordagem proposta pelos autores fornece formações de rede mais estabilizadas, uma solução de baixo complexo que fornece uma melhoria significativa nos ganhos dos parâmetros acima mencionados.

A abordagem dos autores visa a aumentar a capacidade e a cobertura das redes sem fio heterogêneas da próxima geração usando UAVs como o nó de coordenação entre os dispositivos. A abordagem visa aprimorar o mapeamento dos UAVs para uma área de demanda específica com atraso mínimo e maior coordenação. Utilizando um modelo rede para formar a base da implantação do UAV e é avaliado em dois conjuntos de problemas diferentes. O problema abordado concentra-se em dois aspectos diferentes; um é a implantação do UAV considerando as decisões do Macro BS e o outro é a reconfigurabilidade e os arranjos do UAV, permitindo a formação da rede 5G coordenada por UAV auto-suficiente. Esses problemas são resolvidos por meio da definição da estratégia eficiente para disseminar os serviços que também podem ser retransmitidos, mesmo no caso de erros e falhas na rede.

Os UAVs precisam lidar com muitos problemas relacionados à sua implantação

e funcionalidade. Esses veículos aéreos podem gerenciar despesas de capital (CAPEX) e despesas operacionais (OPEX) de redes heterogêneas existentes e podem estender sua cobertura e capacidade. No entanto, as abordagens existentes disponíveis para implantação de dispositivos e para UAVs não são capazes o suficiente para permitir que a QoS atinja os usuários finais. Assim, a disseminação eficiente de dados e o provisionamento de QoS, juntamente com o aprimoramento da cobertura e da capacidade, são os principais objetivos dos autores [Sharma and Srinivasan 2018].

Os autores [Sharma and Srinivasan 2018] lidam com problema de mapeamento inicial de UAVs para demandar áreas que compreendem alguns UEs e, em seguida, aplicando a abordagem de disseminação de dados para formar uma rede confiável, capaz de retransmitir dados de forma eficiente no caso de conectividade indireta entre UAVs, UEs e Macro BS. A estratégia dos autores compreende uma série de algoritmos baseados em redes neurais, o que resolve as questões relacionadas à disseminação de dados, QoS, capacidade e cobertura, que facilita o fluxo de dados nas redes sem fio da próxima geração, usando UAVs como nó-chave, juntamente com o provisionamento de QoS.

A abordagem proposta não utiliza nem implanta células pequenas extras durante a disseminação de dados entre UEs e UAVs. Assim, a disseminação de dados é fornecida entre UEs e Macro BS via UAVs. Sendo assim, os UAVs atuam como ponto de acesso para UEs. A proposta usa uma abordagem de rede neural para priorizar os requisitos de rede e, em seguida, usa uma série de algoritmos para disseminar dados de forma eficiente entre os componentes de rede. A abordagem proposta visa três paradigmas, a saber, disseminação, capacidade e cobertura de dados para melhorar a QoS nas redes sem fio da próxima geração.

Os autores [Fadlullah et al. 2016] propuseram um algoritmo de controle de trajetória dinâmico simples, mas eficaz para os UAVs, esse algoritmo considera que os UAVs com ocupação de filas acima de um limite estão com congestionamento resultando em atraso de comunicação. Para aliviar o congestionamento nos UAVs, a proposta ajusta suas coordenadas centrais e também, se necessário, o raio de sua trajetória.

Os autores consideraram um UAS composto por um enxame de UAVs, que pode ser controlado remotamente por uma estação de controle de UAV. Em outras palavras, os UAVs devem ser controlados pela estação de controle para construir uma rede de comunicação multihop que pode reduzir o atraso de ponta a ponta da comunicação, reduzindo o tempo de trânsito de cada UAV individual. Além disso, assumiram uma alta mobilidade dos UAVs, o que torna possível fornecer serviço de comunicação aos usuários em uma área significativamente ampla. Os usuários enviam seus dados para usuários distantes através do enxame de UAVs, cada um deles voando com uma trajetória circular. Assim, os UAVs constroem uma rede multihop para ajudar os usuários a enviar e receber pacotes. Para reduzir o atraso da comunicação, um UAV precisa se aproximar dos usuários no local. No entanto, devido à mobilidade e à necessidade de se conectar com outros UAVs, nem sempre é possível para um determinado UAV manter um vínculo com os usuários. Como consequência, os usuários estão sujeitos a longos atrasos na comunicação quando o UAV se afasta deles. Além disso, um UAV não apenas precisa manter links de comunicação

próximos com os usuários, mas também precisa manter conexão com os UAVs vizinhos. Em outras palavras, os UAVs também precisam garantir que os links entre eles sejam estáveis, a fim de evitar interrupções nos links de comunicação.

[Li and Cai 2017] propuseram uma estação base assistida por UAV (UABS) para resolver os problemas causados pelo aumento do volume de tráfego da internet móvel e por atender dispositivos MTC com características e locais de tráfego especiais. Permite a implantação heterogênea dentro da macro célula e obtém cobertura dinâmica e adaptativa. Os principais problemas relacionados à implantação de células retransmissoras voadoras, incluindo reutilização de frequência, interferência, alocação de recursos de backhaul e cobertura, são analisados de forma abrangente pelos autores.

O UABS é um sistema controlado centralizado da BS, onde a cobertura pode ser ajustada dinamicamente, alavancando a mobilidade do nó retransmissor baseado em UAV. O BS monitora o tráfego dentro da macrocélula e envia um ou mais nós retransmissores quando necessário. A macro BS monitora o status do buffer de cada usuário e as contenções no Canal de Acesso Aleatório Físico (PRACH) para determinar o momento do envio dos UAVs. As coberturas sugeridas de células UAVs podem ser feitas com base nas localizações dos usuários em tempo real e no registro do histórico estatístico. Além disso, a maioria dos dispositivos MTC possui horários de transmissão predefinidos e locais fixos, para que os UAVs possam ser colocados com antecedência. Quando uma célula retransmissora não é mais necessária, ela será recuperada pela macro BS. Há uma pequena garagem na torre BS para os UAVs estacionarem. Suas baterias são recarregadas ao entrar na garagem. As funções de monitoramento e coleta de informações estão disponíveis nas atuais BS LTE / LTE-A.

As estações-base montadas em veículos aéreos não tripulados (UAV-BSs) ganharam recentemente grande popularidade como uma solução possível para fornecer conectividade sem fio de maneira rápida. Os UAV-BSs podem ajudar a rede celular terrestre em uma variedade de cenários. Por exemplo, no caso de falha de BSs terrestres, os UAV-BSs podem ser implementados rapidamente para atender à demanda repentina de serviços sem fio. Claramente, o UAV-BS deve ser implantado em um local que maximize o número de usuários cobertos. Os autores [Alzenad et al. 2017] propuseram um método eficiente de posicionamento em UAV-BS 3D que resulta na maximização do número de usuários cobertos usando a potência de transmissão mínima necessária. Separaram o posicionamento do UAV-BS na dimensão vertical da dimensão horizontal, o que simplificou o problema de posicionamento sem perda de otimização. Mostraram que o posicionamento do UAV-BS na dimensão horizontal pode ser modelado como um problema de posicionamento do círculo e um menor problema de círculo envolvente. Também avaliaram o método proposto para diferentes níveis de heterogeneidade dos usuários, onde mostraram que uma economia significativa de energia pode ser obtida para cenários altamente heterogêneos.

Os UAVs de baixa altitude, que atuam como estações-base voadoras, são propostos como um paradigma promissor para atender à crescente demanda de tráfego e melhorar a cobertura do sistema de comunicação móvel terrestre. No entanto, como determinar a posição e a região de serviço de cada UAV é um problema para exigir soluções

urgentes. Os autores [Sun et al. 2018], propõem uma estratégia de localização para UAVs para balanceamento de carga, que é com base em uma hipótese razoável, onde o número de usuários atendidos pelos UAVs é maximizado se a carga de tráfego de cada UAV for quase igual. O objetivo da otimização é minimizar a demanda máxima de tráfego entre sub-regiões com restrições de forma e capacidade de UAV.

As principais contribuições deste trabalho se resumiram em estudar como particionar a região de maneira quase equilibrada, minimizando a demanda máxima de tráfego entre sub-regiões com restrições no formato das sub-regiões, raio máximo de cobertura e capacidade dos UAVs. Pelo método dual, puderam resolver o problema efetivamente. Propuseram um algoritmo de busca de linha de retorno para realocar os UAVs, para que a demanda máxima de tráfego entre sub-regiões possa ser reduzida. Os resultados da simulação verificarão se o esquema proposto é eficaz e prático em redes sem fio.. Além disso, a distribuição do tráfego entre os UAVs é mais equilibrada, bem como as áreas de serviço das sub-regiões, indicando a eficácia e a eficiência da nossa proposta.

A retransmissão no ar oferece alguns benefícios atraentes, na medida em que a retransmissão oferece canais de propagação aprimorados para a estação base de serviço e para os usuários-alvo. Além disso, os retransmissores aéreos são móveis e podem atingir dinamicamente pontos de acesso de tráfego emergentes. Os custos operacionais de uma grande frota de SUAVs são atraentes, pois não requerem um local ou custos fixos de aluguel de retorno. Além disso, seus custos de capital estão na mesma ordem de magnitude que as células pequenas e podem ser altamente autônomos em suas operações.

Os [Guo et al. 2014] analisaram o potencial da utilização de pequenos veículos aéreos não tripulados (SUAV) como retransmissores sem fio para auxiliar no desempenho da rede celular. Embora os retransmissores sem fio de alta altitude tenham sido investigados nas últimas duas décadas, a nova classe de SUAVs de baixo custo ofereceram novas possibilidades para solucionar os desequilíbrios no tráfego local e fornecer cobertura de emergência. Apresentaram os resultados dos testes de campo de um banco de ensaios SUAV em ambientes urbanos e rurais. Os resultados mostraram que podem ser alcançadas melhorias de throughput até o pico para usuários em zonas de baixa cobertura. Além disso, o artigo reforça o estudo experimental com análises de redes em larga escala, usando geometria estocástica e resultados de simulação de múltiplas células.

Devido à demanda por taxas de dados constantemente crescentes, especialmente nas redes LTE e LTE-A, os sistemas de rádio móvel atuais estão operando cada vez mais dentro dos limites de capacidade. Consequentemente, são necessárias técnicas para compensar as situações de falta de célula e sobrecarga celular. As abordagens existentes para solucionar esses problemas são tipicamente soluções estáticas e são acompanhadas por Inter-Cell Interference (ICI), como a introdução de femtocélulas. Os autores [Rohde et al. 2013], propuseram uma abordagem baseada em UAV, a fim de fornecer autocorreção ad-hoc de redes celulares. Dessa forma, os UAVs atuam como retransmissões móveis e descarregam o tráfego para as células vizinhas com recursos livres. Introduziram o algoritmo genético de posicionamento de retransmissores aéreos, sensível a interferências, capaz de encontrar posições adequadas para os UAVs que maximizam a taxa

de transferência da rede celular.

O algoritmo proposto é avaliado para layouts de redes celulares hexagonais e irregulares e é baseado em um modelo analítico para derivar a taxa de transferência dos principais indicadores de desempenho, perda do sistema e recursos restantes livres nas células para o downlink. Para diminuir a interferência introduzida entre os UAVs e as estações base circundantes, é aplicado um esquema de alocação aleatória de frequência. Com base em um modelo analítico exato para o relação sinal/ruído dos usuários atendidos pelos UAVs, é mostrado que, por diferentes distribuições de salto, é possível obter uma redução do SINR em até 11,6 dB, em comparação com o pior desempenho possível. sistemas sem planejamento de recursos.

Os autores [Mozaffari et al. 2016a] investigam a implantação 3D ideal de vários UAVs, a fim de maximizar o desempenho da cobertura de *downlink* enquanto utiliza uma potência mínima de transmissão. Dada uma área geográfica alvo, os requisitos de cobertura dos usuários do solo e vários UAVs que usam antenas direcionais, desenvolveram uma nova estrutura para determinar a localização 3D ideal dos UAVs. Primeiro, derivaram a probabilidade de cobertura do *downlink* para um UAV em função da altitude e do ganho da antena. Em seguida, usaram a teoria de empacotamento circular, propuseram um método de implantação eficiente que leva ao desempenho máximo de cobertura, garantindo que as áreas de cobertura dos UAVs não se sobreponham.

Os resultados mostraram que, considerando o tamanho da área desejada, o número de UAVs disponíveis e o ganho (ou largura de banda) das antenas direcionais, a altitude e a localização dos UAVs podem ser adequadamente ajustadas para atender aos requisitos de cobertura. Além disso, os resultados revelaram o número mínimo de UAVs necessários para garantir uma cobertura de destino para uma determinada área geográfica.

A utilização de estações base de drones (drone-BSs) em redes celulares sem fio recentemente atraiu muita atenção como uma solução promissora para aumentar temporariamente a capacidade ou a cobertura de uma área em redes 5G+. Os drone-BSs podem ajudar uma rede terrestre de BSs a fornecer alta cobertura de taxa de dados sempre e onde houver uma necessidade excessiva, especialmente em situações em que essa demanda ocorre de uma maneira bastante difícil de prever

Os autores [Kalantari et al. 2017] investigam como os diferentes tipos de backhaul sem fio que oferecem várias taxas de dados afetariam o número de usuários atendidos. Duas abordagens, centralizada na rede e centralizada no usuário, são introduzidas e o posicionamento otimizado para backhaul 3D de um drone-BS é encontrado para cada abordagem. Para esse fim, o número total de usuários atendidos e as taxas de soma são maximizados nas estruturas centralizada na rede e centralizada no usuário, respectivamente. Além disso, como diminuiriam os movimentos do drone-BS para economizar mais bateria e aumentar o tempo de voo e reduzir as variações de canal, a robustez da rede foi examinada como sensível em relação aos deslocamentos dos usuários.

Baseado nos trabalhos citados anteriormente, esta pesquisa propõe uma metodologia de tomada de decisão com base em um sistema fuzzy, analisando a QoS da rede

Tabela 5: Síntese dos Principais Trabalhos Relacionados

Referências	Lacunas Encontradas
[Sharma e Srinivasan 2018]	Os autores buscam soluções para melhorar a qualidade da rede para os usuários utilizando um algoritmo de rede neural. Porém não utilizam nenhum método baseado em inteligência computacional voltado para determinar possíveis áreas afetadas, por algum afluxo anormal de pessoas ou possíveis desastres naturais.
[Rohde et al. 2013]	Os autores tratam da questão de posicionamento de UAV utilizando um algoritmo genético, para melhorar a cobertura da rede para os UEs. Porém utilização de algoritmo genético não torna os resultados precisos devido a dinamicidade da rede, o que requer uma tomada de decisão precisa com base nas mudanças da rede.
[Fadlullah et al. 2016]	Neste trabalho, os autores focam na melhoria da conexão entre UAV e UE, deixando em abertos questões de deslocamento e posicionamento em áreas com alta demanda de usuários.
[Li and Cai 2017]	Os autores utilizam o UAV como BS para melhorar a cobertura da rede dentro da macro célula. Os autores deixaram em aberto questões relacionadas ao posicionamento do UAV, não identificam qual célula se encontra com congestionamento de rede.
[Alzenad et al. 2017]	Os autores propuseram uma solução para determinar o melhor posicionamento de conexão entre UAV e UE, porém não trataram de questões relacionadas ao posicionamento de UAV devido a um alto volume tráfego de dados gerados pelos UE.
[Mozaffari et al. 2016a]	Os autores buscam a posição ideal de UAV para melhorar a qualidade da rede para os UE, onde derivaram a probabilidade de cobertura de downlink para um UAV em função da altitude e do ganho da antena. Porém não utilizam nenhum método baseado em inteligência computacional voltado para determinar possíveis áreas afetadas pelo grande volume dados gerados pelos UE.

considerando como parâmetros de entrada a vazão, a taxa de perda de pacote e o atraso para melhorar a cobertura e qualidade da rede da área que está sob alta concentração de usuários móveis.

Objetivando um melhor esclarecimento dos diferentes aspectos dos trabalhos citados acima, a Tabela 2 mostra de maneira clara e concisa os principais trabalhos relacionados a esta pesquisa.

3.2 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados trabalhos que norteiam o estado da arte do tema proposto nesta dissertação, a fim de mostrar a diversidade de estratégias e lacunas existentes ainda não resolvidas. O modelo do sistema, parâmetros de Rede e é apresentado no capítulo que segue.

CAPÍTULO 4

Estratégias de Alocação de UAV

Devido a crescente demandas de usuários em cidades inteligentes e para fornecer uma melhor qualidade de vida aos moradores e visitantes, onde possam estar conectados aos seus dispositivos em momentos de alto tráfego da rede, foi proposto um método de tomada de decisão utilizando sistema fuzzy para o deslocamento de UAV.

4.1 Análise de QoS em Sistema Multimídia

A QoS pode ser definida como um requisito das aplicações multimídia, onde se exige que determinados parâmetros estejam dentro dos limites de máximos e mínimos. Esses parâmetros representam a qualidade da rede e irão definir a quantidade de recursos a serem destinados para um determinado grupo de usuários. As aplicações utilizadas nesse artigo foram videoconferência e Voz sobre IP, sendo analisado os parâmetros de QoS dos respectivos, como perda de pacote, atraso e vazão [Teleco 2019].

Os parâmetros de QoS utilizados para a aplicação de videoconferência foram baseados a partir do padrão da União Internacional de Telecomunicações (ITU-T) com base na recomendação H.323 que define os protocolos para sessão de comunicação audiovisual em qualquer rede de pacotes, e estabelece padrões para codificação e decodificação de fluxos de dados e vídeo. Os terminais H.323 que fornecem comunicações de vídeo devem ser capazes de codificar e decodificar vídeo de acordo com o H.261 QCIF, ou também pode codificar e decodificar vídeos de acordo com os outros modos de H.261, H.263 e H.264 [ITU-T 2009]. A *International Business Machines* (IBM) também foi tomada como ponto de referência para coletas desses parâmetros, onde demonstra a largura de banda necessária para transmissão de vídeo em diferentes situações [IBM 2018].

Os parâmetros de QoS utilizados para aplicação Voz sobre IP foram baseados

a partir do padrão da União Internacional de Telecomunicações (ITU-T) com base nas recomendações G.114 que aborda atrasos aceitáveis para aplicativos de voz [ITU-T 2003], G.1010 considera uma variedade de aplicativos que envolvem as mídias e os parâmetros que controlam a satisfação do usuário final para esses aplicativos [ITU-T 2001], e o H323 que possui um codec de áudio, capazes de codificar e decodificar o áudio de acordo com ITU-T G.711 [ITU-T 2009]. A Cisco também foi tomada como ponto de referência, onde explica os cálculos e recursos da largura de banda de codec de voz para modificar ou manter a largura de banda quando for usada Voz sobre IP (VoIP) [Cisco 2016].

Os parâmetros de QoS utilizados nesse artigo foram classificados em três níveis: Intolerável, Aceitável e Ótimo, representando o nível de qualidade de serviço da rede no que se refere ser o ideal para os usuários finais com base em simulações e estudos feitos. A partir dessa classificação feita com base nos estudos das normas do ITU-T mencionadas, IBM e Cisco [ITU-T 2009], [ITU-T 2003], [ITU-T 2001], [Cisco 2016] e [IBM 2018] foi montada a Tabela 6 com os parâmetros de QoS Atraso, Perda de Pacote e Vazão que determinam a qualidade de rede em relação a cada aplicação utilizada.

Tabela 6: Medição da Qualidade de Serviço da Aplicação

Videoconferência			
	Intolerável	Aceitável	Ótimo
Atraso (ms)	>300	180 - 300	0 - 180
Perda de Pacote (%)	>2	1 - 2	0 - 1
Vazão (Kbps)	<256	256 - 768	>768
VoIP			
	Intolerável	Aceitável	Ótimo
Atraso (ms)	>300	180 - 300	0 - 180
Perda de Pacote (%)	>1.5	0.5 - 1.5	0 - 0.5
Vazão (Kbps)	0 - 64	64 - 80	>80

4.2 Sistema Fuzzy para Alocação de UAV

A qualidade e o desempenho de alguns serviços de cidades inteligentes podem ser aumentados e aprimorados usando UAVs. Um exemplo é a comunicação sem fio auxiliada por UAVs utilizada neste trabalho para aprimorar a confiabilidade, qualidade e desempenho de serviços de rede.

A comunicação sem fio pode ser fornecida e utilizada para diferentes aplicações usando diferentes tecnologias de comunicação, como Wi-Fi, GSM, 4G, 5G e links de satélite. Nesses casos, os UAVs equipados com dispositivos de suporte de comunicação sem fio podem ser implantados nessas áreas para fornecer cobertura básica ou adicional onde os usuários possam ter acesso à Internet aos seus dispositivos a qualquer hora e local [Zeng et al. 2016].

A Figura 8 mostra o cenário proposto, onde os nós eNodeB's representam as torres da tecnologia LTE, que fazem a comunicação entre o nó remoto e os nós cliente,

os UENodes representam os nós cliente que estão sob alcance das torres e recebem dados dos nós remotos através das mesmas, e o RemoteHost é o nó que geralmente está fora do alcance das torres e fazem papel de servidores em aplicações de conteúdo multimídia.

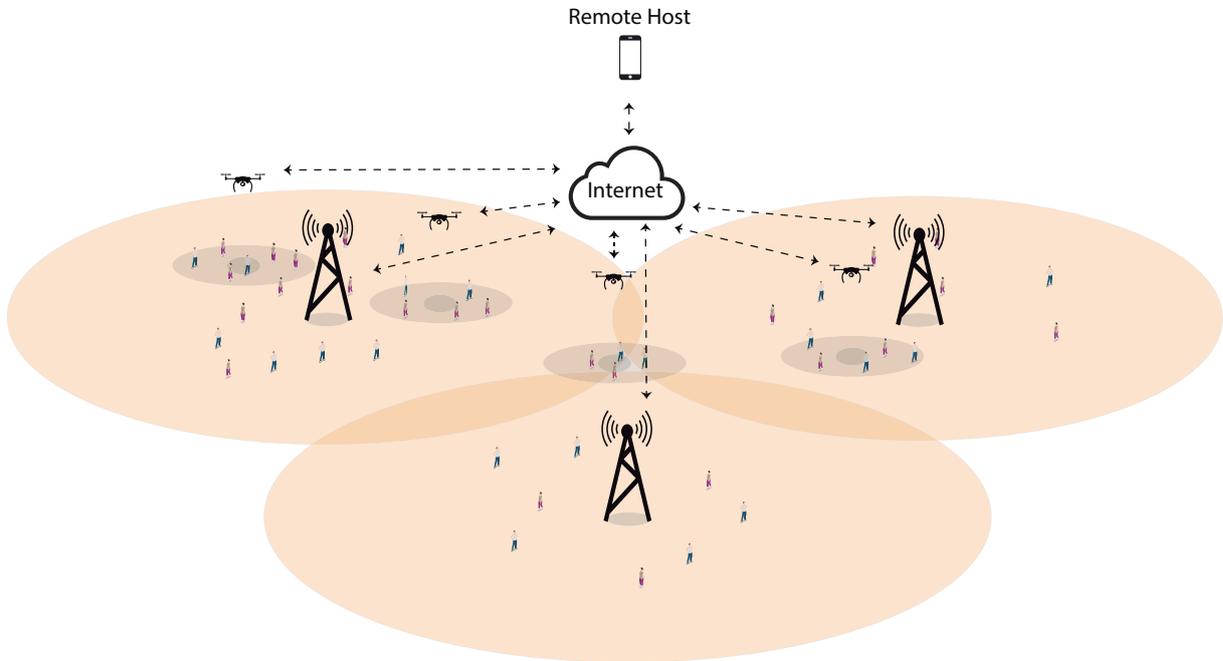


Figura 8: Arquitetura do Cenário Proposto [Fonte: Autor]

Em situações que há um número limitado de UAVs, é essencial definir a localização em que os mesmos devem ser dispostos. Para isso, utilizou-se o método de clusterização DBSCAN, do inglês *Density-based spatial clustering of applications with noise* (Agrupamento espacial baseado em densidade de aplicações com ruído). O DBSCAN requer dois parâmetros: A distância máxima para que os pontos sejam considerados vizinhos, e o número mínimo de pontos para considerar um agrupamento ou região densa [Schubert et al. 2017].

Uma vez definido o agrupamento dos nós, a estratégia proposta quantifica a qualidade da rede em **Intolerável**, **Aceitável**, e **Ótimo** através do sistema fuzzy. Quando o número de UAVs não é suficiente para cobrir todas as zonas de agrupamento de nós, a estratégia prioriza as zonas de baixa qualidade (Intolerável), seguida pelas zonas de média qualidade (Aceitável). Devido à mobilidade dos nós e dinamicidade da rede, os UAVs permanecem nas zonas indicadas pelo sistema fuzzy por um tempo determinado t , até que seja realizada uma nova avaliação da qualidade da rede e calculada as novas coordenadas dos UAVs.

Uma demonstração desse esquema proposto é mostrada no Algoritmo 1, que também verifica o número de UAVs disponíveis e sequencialmente define as zonas de agrupamento de nós (Linhas 1 e 4). Para cada uma das zonas, calcula o QoS da rede da mesma (baseado na vazão, perda de pacote e atraso), e o ponto de coordenada médio dos nós pertencentes a esta zona (Linhas 5 a 9). A fim de priorizar as zonas de maior

demanda, o QoS é ordenado de forma que os maiores valores, ou seja, piores índices de qualidade de vazão, perda de pacote e atraso, sejam os primeiros elementos (Linha 11). Posteriormente, verifica-se a condição de QoS aceitável ou intolerável ($QoS \leq 0.4$) para então enviar os UAVs para coordenadas médias de cada zona que satisfaça tal condição (Linhas 12 a 20).

Algorithm 1: Algoritmo de alocação de UAV

```

1  $N \leftarrow$  Número de UAVs disponíveis
2  $d \leftarrow$  Distância máxima entre vizinhos
3  $n_{rd} \leftarrow$  Número de pontos mínimos para região densa
4  $zones \leftarrow DBSCAN(d, n_{rd})$ 
5 Para (  $i = 1 ; i \leq length(zones) ; i + 1$  ) {
6    $T \leftarrow$  Vazão atual da rede da zona  $i$ 
7    $PLR \leftarrow$  Perda de pacote atual da rede da zona  $i$ 
8    $Del \leftarrow$  Atraso atual da rede  $i$ 
9    $QoS[i] \leftarrow CalculaQoS(T, PLR, Del, zones[i])$ 
10 }
11  $Ordena(QoS, "qos")$ 
12 Para (  $j = 1 ; j \leq length(zones) ; j + 1$  ) {
13   if  $QoS[j][\text{"qos"}] \geq 0.4$  then
14      $coord \leftarrow QoS[j][\text{"coord"}]$ 
15      $enviarUAV(coord)$ 
16      $count \leftarrow count + 1$ 
17   end
18   if  $count == N$  then
19      $j \leftarrow length(zones) + 1$ 
20   end
21 }

```

O fluxograma na Figura 9 mostra de uma outra forma a estratégia proposta, onde o usuário tenta a conexão com a BS terrestre, em seguida passa pelo método de avaliação do sistema fuzzy que avalia a QoS da rede tanto para aplicações VoIP como para Videoconferência. Se a QoS da rede for menor ou igual que 0,4, a QoS da zona se encontra Ótimo, não havendo a necessidade do envio de UAVs e retoma para o processo de avaliação. Se a QoS for maior ou igual a 0,6, a QoS da zona se encontra intolerável e o envio de UAV é prioritário em situações que o número de UAV é limitado. Caso QoS seja menor que 0,6 e maior que 0,4, a QoS da zona se encontra Aceitável, ou seja, com conexão fraca, onde há necessidade de UAV mas não de forma prioritária.

O envio dos UAVs sempre prioriza as zonas de pior qualidade de QoS (valores próximos a 1 na saída do fuzzy) e posteriormente as zonas de média qualidade (valores acima de 0,4 e menor que 0,6). Após todo o processo de avaliação de QoS das zonas e envio dos UAVs, de tempos em tempos o UE tenta a conexão com a BS terrestre e os demais processos de avaliação e divisão de zonas ocorrem mais uma vez, tornando a

estratégia uma estratégia cíclica.

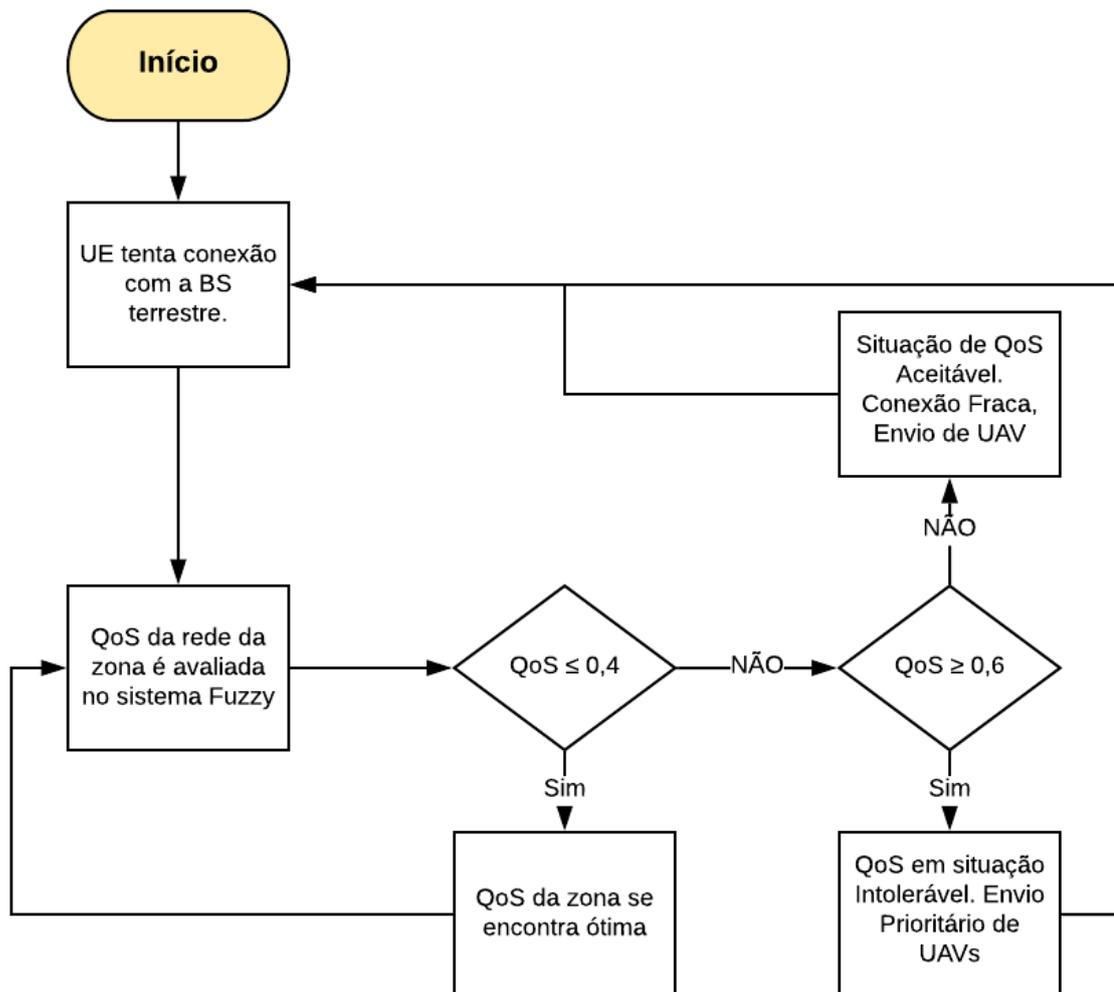


Figura 9: Fluxograma da Estratégia Proposta [Fonte: Autor]

O sistema fuzzy proposto recebe como entradas informações da rede como vazão, taxa de perda de pacote e atraso, e retorna à qualidade da rede daquele tipo específico de aplicação. Foram construído dois fuzzy neste trabalho um para aplicações VoIP e outro para Videoconferência. As entradas para o sistema são os valores obtidos para os parâmetros de QoS, que foram adotadas a partir do padrão da União Internacional de Telecomunicações (ITU-T) com base nas recomendações G.114 [ITU-T 2003], G.1010 [ITU-T 2001], H.264 [ITU-T 2009], e o ITU-T G.711 [ITU-T 2009], representado na Tabela 6.

Após serem mensurados, os valores referentes a atraso, perda de pacote e vazão são repassados ao sistema fuzzy, que aplica as regras para obter-se os valores de saídas do sistema. A tomada de decisão é baseada nos requisitos de QoS, medidos constantemente nos cenários avaliados. A partir de um conjunto de funções de pertinência relacionados a termos linguísticos, são geradas as variáveis linguísticas, sendo assim cada termo linguístico é um conjunto fuzzy, definido por uma função de pertinência.

As entradas do sistema fuzzy em aplicação VoIP possui dois eixos x e y, onde x representa os valores de entrada de uma variável e o eixo y são os valores de grau de pertinência do conjunto fuzzy. As entradas utilizadas foram Vazão, Atraso e Perda de Pacote mostradas nas Figuras 10, 11, 12, com base na tabela 6. A partir disso foram geradas as variáveis linguísticas na base de regras e posteriormente a saída da QoS mostrada na Figura ?? da rede com grau de pertinência variando de 0 a 1.

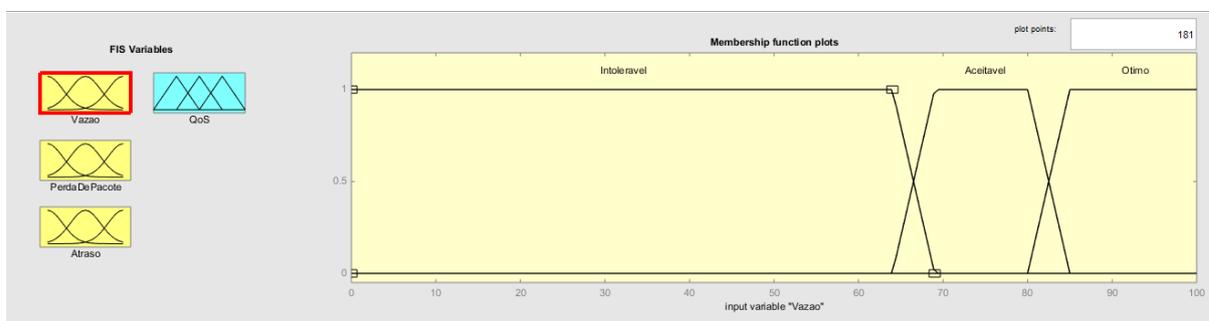


Figura 10: Entrada da Vazão para Aplicação VoIP

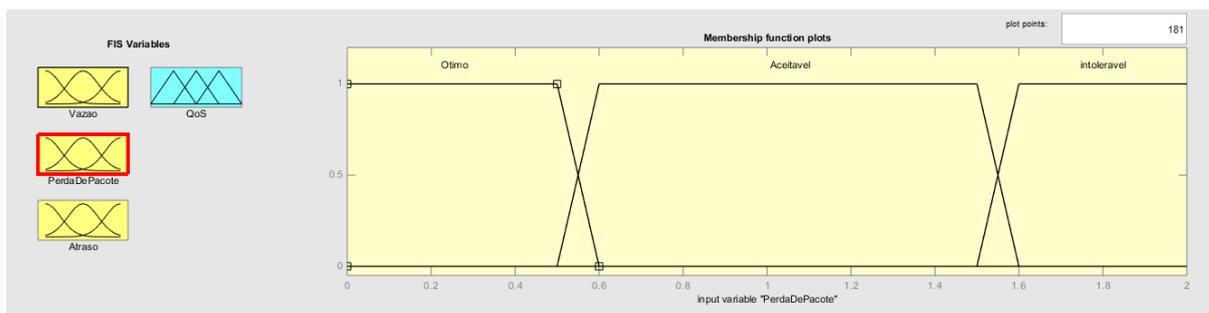


Figura 11: Entrada da Perda de Pacote para Aplicação VoIP

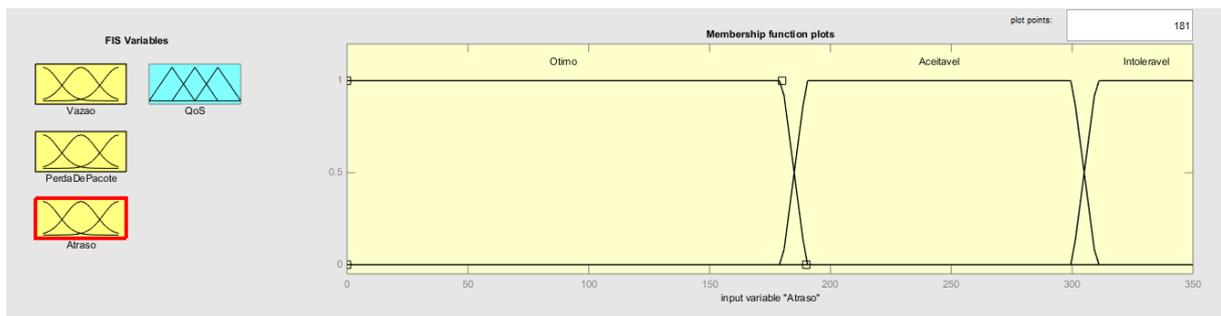


Figura 12: Entrada da Atraso para Aplicação VoIP

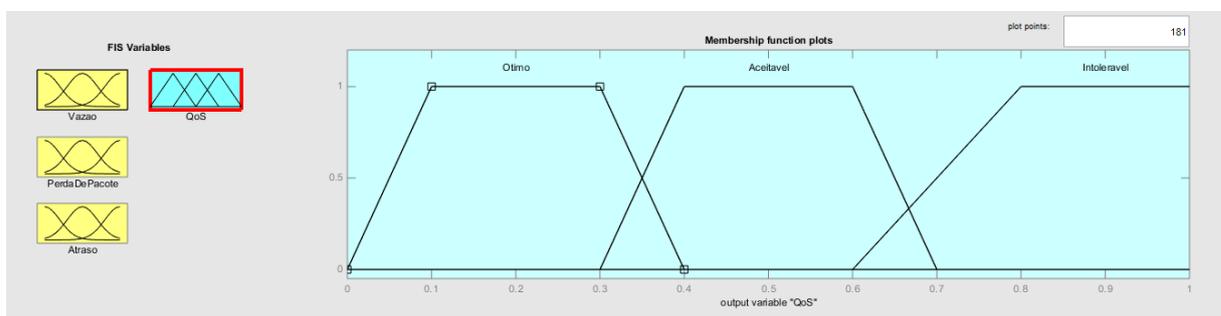


Figura 13: Saída do QoS em Aplicação VoIP

No mesmo seguimento, as entradas do sistema fuzzy em aplicação de Videoconferência possui dois eixos x e y, onde x representa os valores de entrada de uma variável e o eixo y são os valores de grau de pertinência do conjunto fuzzy. As entradas utilizadas foram Vazão, Atraso e Perda de Pacote mostradas nas Figuras 14, 15, 16, com base na tabela 6. A partir disso foram geradas as variáveis linguísticas na base de regras e posteriormente a saída da QoS mostrada na Figura 17 da rede com grau de pertinência variando de 0 a 1.

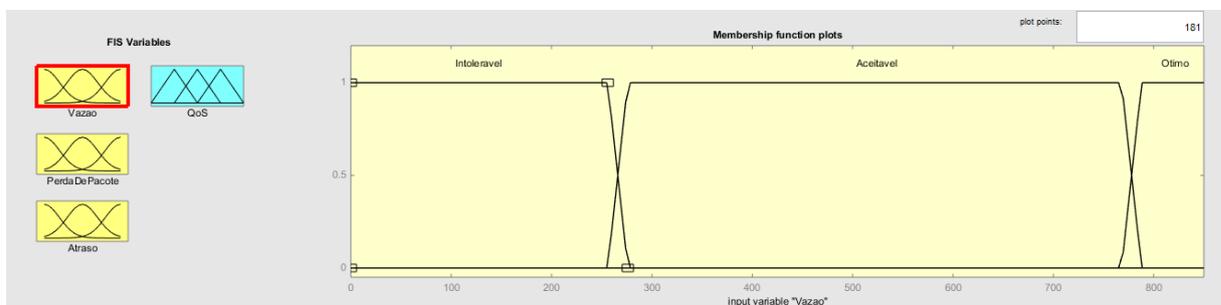


Figura 14: Entrada da Vazão para Aplicação de Videoconferência

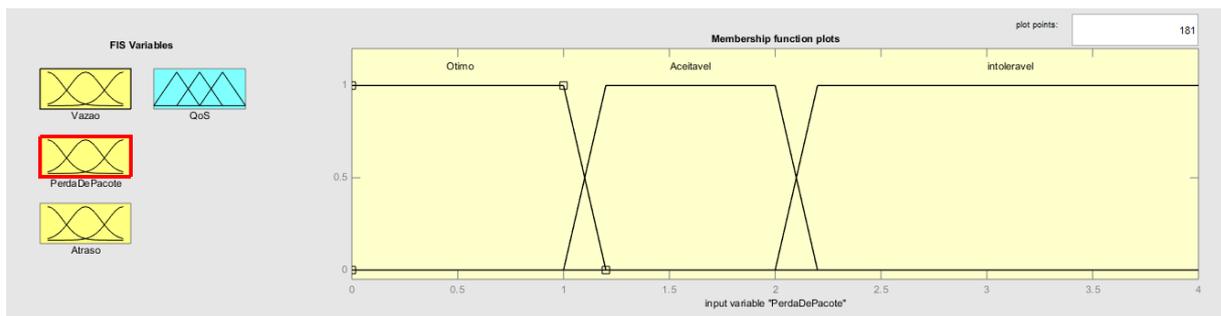


Figura 15: Entrada da Perda de Pacote para Aplicação de Videoconferência

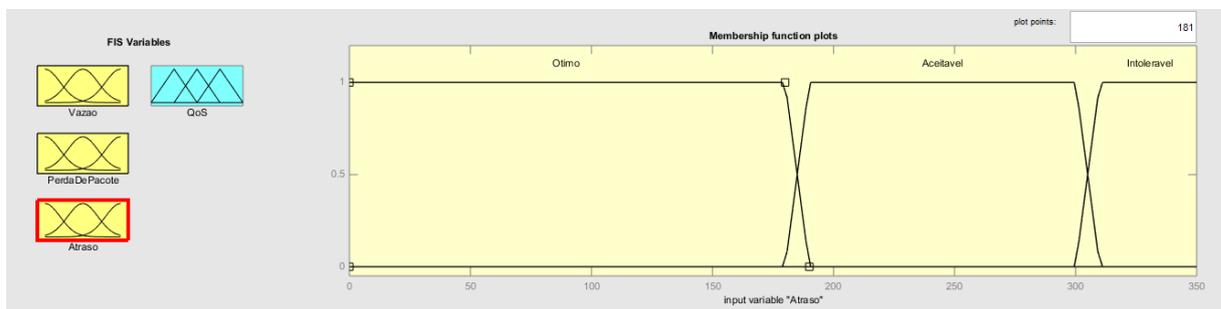


Figura 16: Entrada da Atraso para Aplicação de Videoconferência

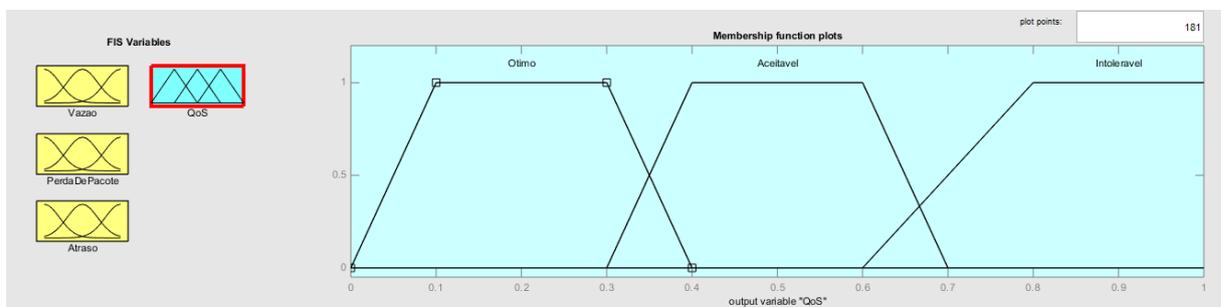


Figura 17: Saída do QoS em Aplicação de Videoconferência

As taxas de saída da tomada de decisão de VoIP e Videoconferência foram definidas como Ótimo (0 - 0.4), Aceitável (0.3 - 0.7) e Intolerável (0.6 - 1), onde foram realizadas análises dessas saídas com base em simulações e alcançou-se a classificação da QoS da rede. Uma QoS ótimo representa que não há a necessidade de enviar UAVs, aceitável representa que há a necessidade, mas não de forma emergente, e intolerável representa que a rede está em condições ruins e necessita de um ou mais UAVs de forma prioritária.

A Figura 18 mostra a saída da QoS no sistema fuzzy em 3D da aplicação VoIP, onde podemos visualizar o grau de pertinência de cada parâmetro de entrada. No gráfico

é possível visualizar apenas das duas entradas, a vazão e a perda de pacote. Supondo que a vazão seja alta, perda de pacote baixa e atraso baixo, então o valor de saída da QoS é baixo, em que na escala da qualidade de serviço da rede se caracteriza em ótimo. Da mesma forma a Figura 19 representa a saída da QoS no sistema fuzzy em 3D para aplicação de Videoconferência. Por exemplo, quando a vazão for baixa, perda de pacote alta e atraso alto, então o valor de saída da QoS é alto, em que na escala da qualidade de serviço da rede se caracteriza em Intolerável.

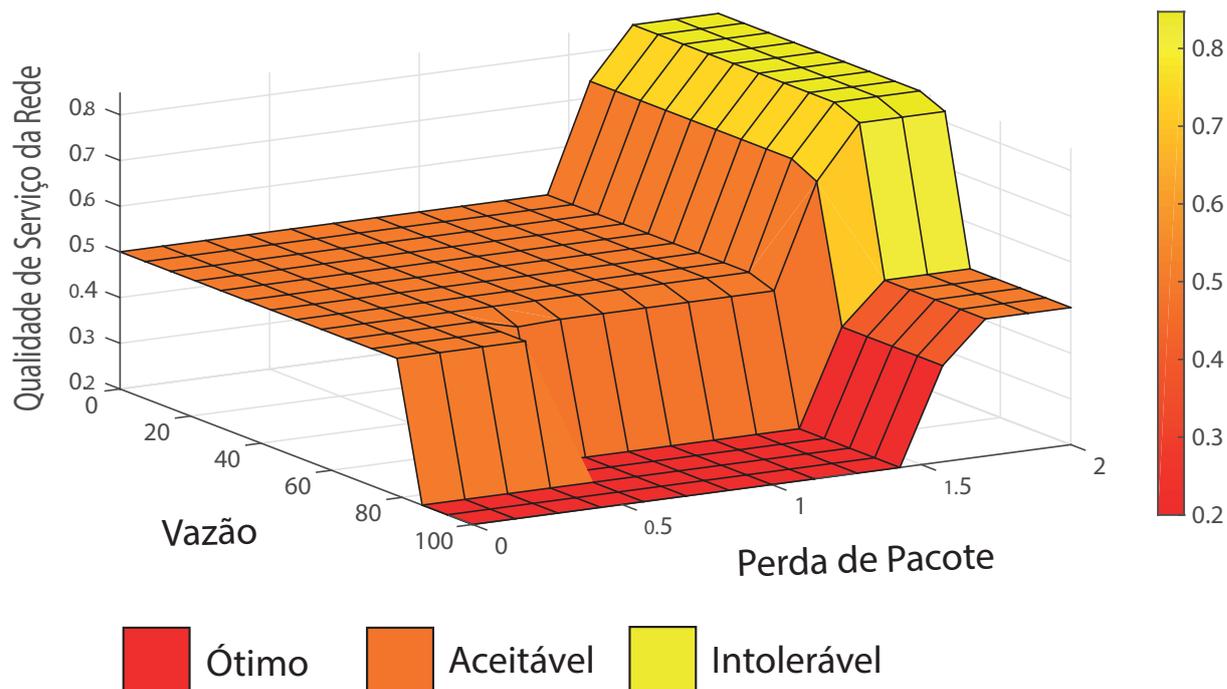


Figura 18: Saída da Voz sobre IP Fuzzy 3D

A partir da classificação de todos os valores de QoS, é necessário quantificar a qualidade da conexão para as aplicações. Esse procedimento é realizado pela base de regras do sistema fuzzy. A base de regras do sistema fuzzy (Tabela 7) foi construída em 24 regras com a ajuda de especialistas em análise de desempenho em redes de computadores e através de vários testes chegou-se à conclusão que essas 24 regras específicas são necessárias e as demais não utilizadas são as regras difusas que serão definidas de acordo com a máquina de inferência do sistema Fuzzy. Foram considerados 3 conjuntos nebulosos (Ótimo, Aceitável e Intolerável) e 3 variáveis de entrada (vazão, taxa de perda de pacote e atraso). Sendo assim, estas regras conseguem relacionar as condições aferidas nos diversos parâmetros de QoS, podendo ser modeladas para as diversas aplicações multimídia.

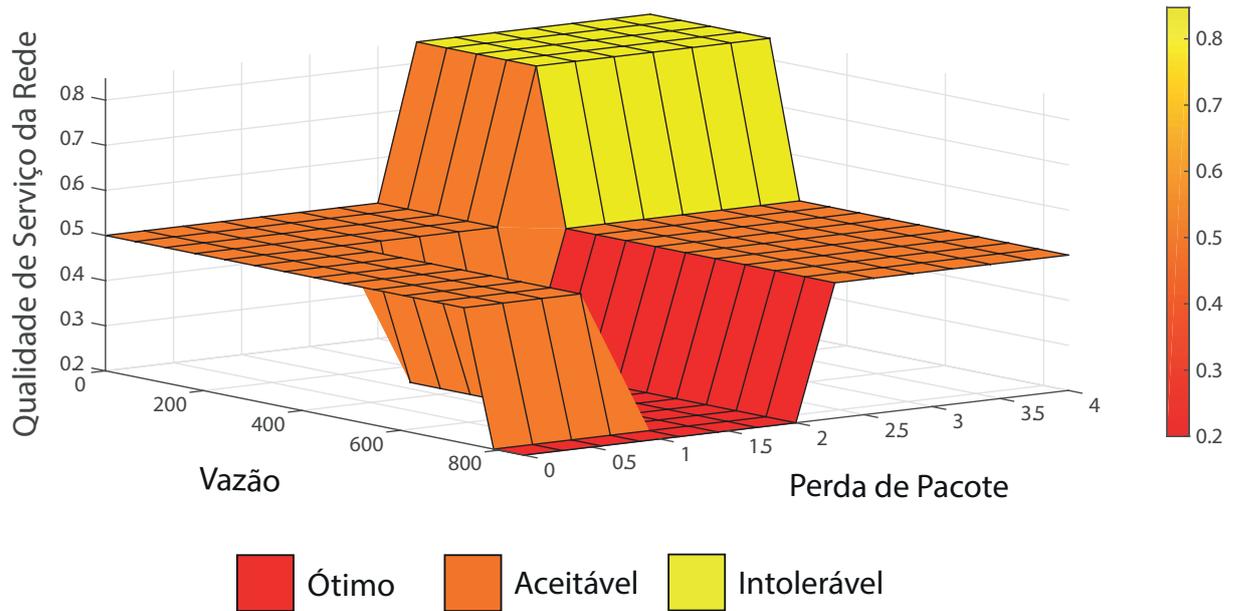


Figura 19: Saída da Videoconferência Fuzzy 3D

Tabela 7: Base de Regras Fuzzy

Base de Regras Fuzzy			
Vazão	Perda de Pacote	Atraso	QoS
Ótimo	Aceitável	Ótimo	Ótimo
Ótimo	Ótimo	Aceitável	Ótimo
Aceitável	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Aceitável	Aceitável	Ótimo	Ótimo
Aceitável	Ótimo	Aceitável	Ótimo
Ótimo	Aceitável	Aceitável	Ótimo
Ótimo	Aceitável	Intolerável	Aceitável
Ótimo	Intolerável	Aceitável	Aceitável
Intolerável	Ótimo	Aceitável	Aceitável
Intolerável	Ótimo	Ótimo	Aceitável
Ótimo	Ótimo	Intolerável	Aceitável
Ótimo	Intolerável	Ótimo	Aceitável
Aceitável	Ótimo	Intolerável	Aceitável
Aceitável	Intolerável	Ótimo	Aceitável
Intolerável	Aceitável	Ótimo	Aceitável
Intolerável	Aceitável	Intolerável	Intolerável
Intolerável	Intolerável	Aceitável	Intolerável
Intolerável	Ótimo	Intolerável	Intolerável
Intolerável	Intolerável	Ótimo	Intolerável
Aceitável	Intolerável	Intolerável	Intolerável
Ótimo	Intolerável	Intolerável	Intolerável
Aceitável	Intolerável	Aceitável	Intolerável
Intolerável	Aceitável	Aceitável	Intolerável
Aceitável	Aceitável	Intolerável	Intolerável

4.3 Considerações Finais

Neste capítulo, foi mostrado o modelo do sistema, e os parâmetros de QoS da rede utilizados nesta dissertação. Em subsequente, foi detalhado o algoritmo do sistema proposto. No capítulo posterior, são feitas as análises dos resultados, com os respectivos meios de simulação.

CAPÍTULO 5

Avaliação de Desempenho

Neste capítulo é discutida a avaliação das aplicações de videoconferência e Voz sobre IP, avaliando a QoS da rede em cenários LTE e LTE-UAV. Além disso, descreve-se os cenários das simulações e os parâmetros utilizados, e analisa os resultados obtidos.

5.1 Resultados

A fim de avaliar o desempenho da proposta, foram realizadas simulações no ambiente de simulação de redes NS-3 [NS-3 Network Simulator 2011]. O NS-3 é um simulador de eventos discretos e é responsável por controlar os parâmetros relacionados aos cenários de rede descritos na Tabela 8. Os cenários simulados contêm três tipos de nós, sendo eles:

- **eNodeB:** Nós responsáveis por fazer a comunicação entre o nó remoto e os nós cliente (nestes cenários, os nós eNodeB's representam as torres da tecnologia LTE);
- **UeNode:** Nós que estão sob o alcance das torres e recebem dados dos nós remotos através das mesmas (representam nós cliente).
- **RemoteHost:** Nós que geralmente estão fora do alcance das torres e fazem papel de servidores em aplicações de conteúdo multimídia.

Tabela 8: Parâmetros de Simulação

Parameters	Values
Mobilidade do EnodeB	Estática
Aplicação	VoIP
Tecnologia	LTE
Frequência do LTE	700 MHz
Mobilidade do Nó Cliente	RandomWay
Velocidade dos Nós	3,6 a 36 Km/h
Raio de Cobertura	1 km
Modelo de Propagação	Cost231
Número de Nós	15, 30, 45 e 60
Potência de Transmissão (eNodeB)	33 dBm
Potência de Transmissão (UAV)	20 dBm
Altura do UAV	30 m
Tempo de Simulação	100 s
Codec de Áudio	G.711

Neste trabalho foram conduzidas um conjunto de simulações com sementes geradas de forma aleatória, onde cada cenário contém 15, 30, 45 e 60 nós móveis por célula, dispostos aleatoriamente em uma área de até 1km das EnodeB's. A velocidade dos nós móveis varia de 3,6 km/h a 36 km/h . Tal variação objetiva representar diferentes tipos de nós (pedestres e veículos) em aplicações VoIP e de Videoconferência e avaliar a qualidade da rede em diferentes cenários.

Com o intuito de representar cenários densos e urbanos, escolheu-se como modelo de propagação o modelo Cost231, também conhecido como modelo Cost Hata. Este modelo é bastante utilizado na literatura para redes celulares. O modelo Cost231 é um modelo semi-empírico de perda de trajetória, é recomendado para macro células em cenários urbanos e suburbanos, mostrando resultados muito bons para cálculos de perda de caminho para antenas de BS. O modelo COST231 possui uma faixa de frequência entre 800 MHz e 2000 MHz [SILVA FILHO et al. 2019]. A perda de propagação é dada pela Equação 5.1:

$$L = 46,3 + 39,9 \log(f) - 13,82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log(h_{te})) \log(d) + C_m \quad (5.1)$$

C_m - 0 dB para cidades urbanas medias e suburbanas

C_m - 3 dB para cidades metropolitanas

A partir disso, foram coletados os resultados e posteriormente foram realizadas análises comparativas da vazão, taxa de perda de pacote e atraso para Cenário LTE, que é a comunicação da BS com os nós clientes e Cenário LTE-UAV, que é a comunicação do UAV com nós clientes em aplicações VoIP e de videoconferência. Os resultados mostram

um intervalo de confiança de 95%. O intervalo de confiança de 95%, representa que 95% dos resultados estão entre as faixas de valores mostrada nos gráficos.

A Figura 20 mostra que, nos cenários LTE-UAV, obteve-se uma melhora na vazão de 1% para 15 nós, 14% para 30 nós, 24% para 45 nós e 21% para 60 nós em aplicações VoIP. Tal melhora é devido ao aumento do sinal de transmissão gerada pelos equipamentos de transmissão dos UAVS. Para aplicações de videoconferência essa melhora da vazão média dos nós pode chegar, em média, até 222% para um cenário de 60 nós, como observado na Figura 21. Esses aumentos devem-se principalmente pelo deslocamento de UAVS para áreas de maior demanda e que apresentam degradação na Qualidade de Serviço da rede. Esse deslocamento permite que alguns nós móveis anexados às EnodeBs migrem para o UAV, balanceando a carga da rede e melhorando a vazão, uma vez que permite que uma maior banda esteja disponível para os nós remanescentes atrelados às EnodeBs.

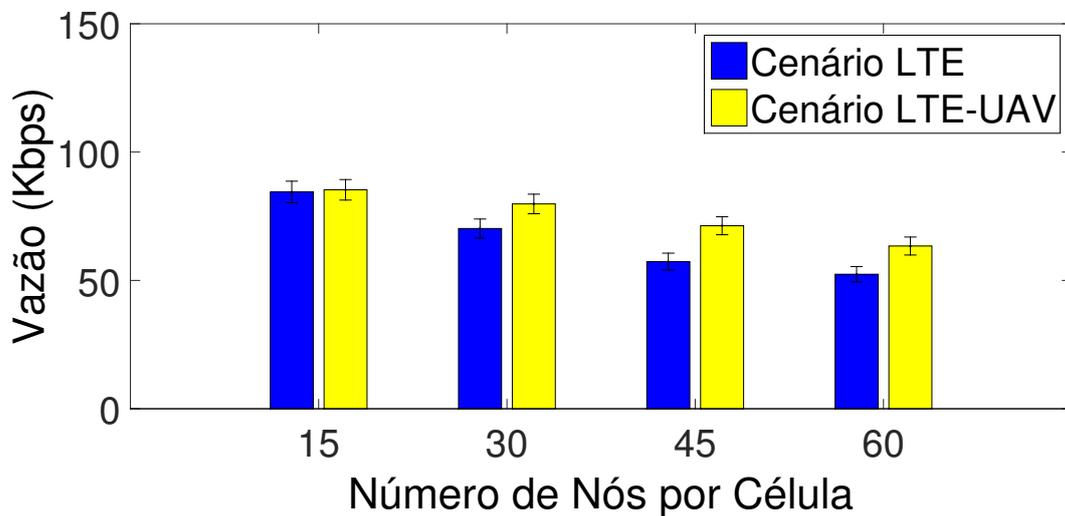


Figura 20: Aplicação VoIP

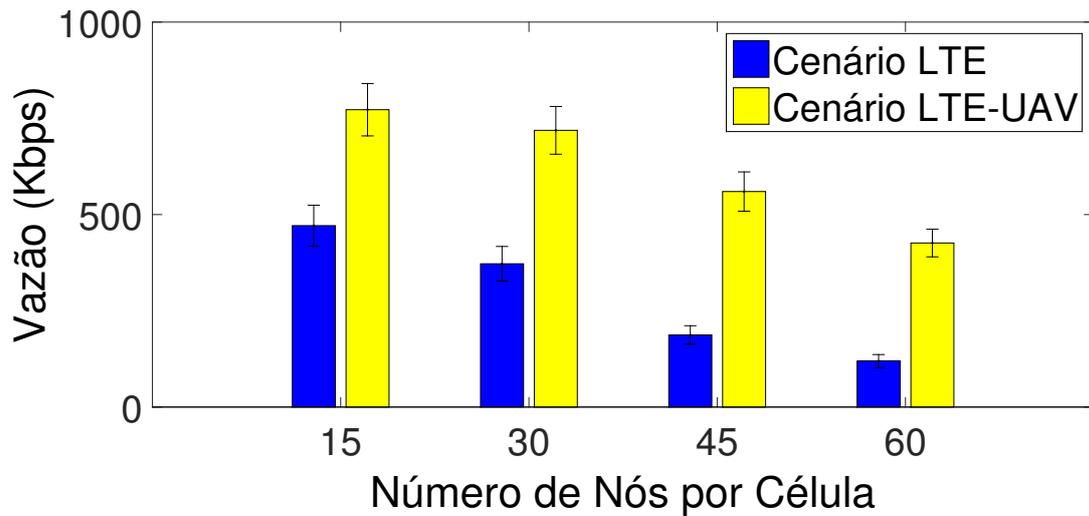


Figura 21: Aplicação de Videoconferência

Em contrapartida, quando ocorrer o handover dos usuários da BS terrestre para o UAV BS a migração de nós móveis para UAVs leva um tempo e pode ser prejudicial se for realizada constantemente. Para mitigar esse tipo de problema, a estratégia de alocação dos UAVs é utilizada de forma controlada, avaliando os três estágios de qualidade da rede: ótimo, aceitável e intolerável. Como consequência, apesar do tempo de migração, a Figura 22 e 23 mostraram que a estratégia de alocação de UAVs diminui o atraso em aplicações VoIP a partir do cenário de 30 nós e de videoconferência. Isso deve-se pelo fato de que o aumento da vazão permite um maior número de transmissão de dados e os UAVs encontram-se mais perto dos usuários móveis.

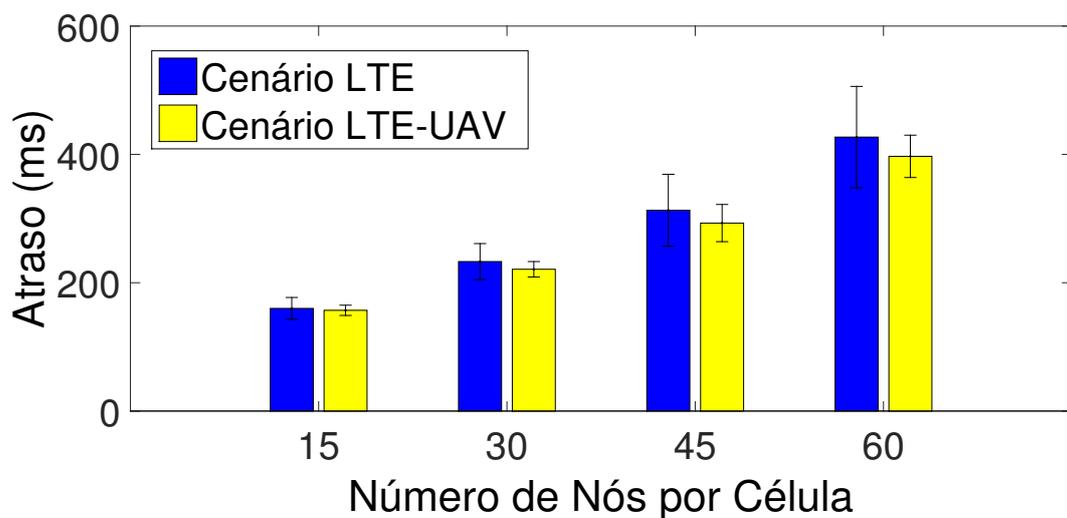


Figura 22: Aplicação VoIP

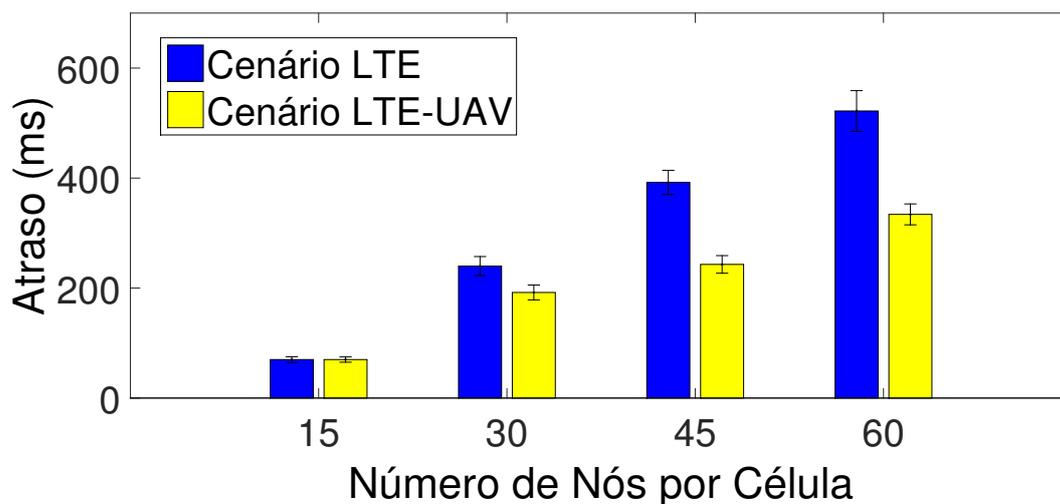


Figura 23: Aplicação de Videoconferência

No mesmo contexto, observando as Figuras 24 e 25, nota-se que houve uma diminuição na taxa de perda de pacote em cenários LTE-UAV, obtendo uma melhora de até de 89% para 15 nós em aplicações VoIP e até 98% para 15 nós em aplicações de videoconferência. Essa diminuição ocorre, pois, a alocação de um ou mais UAVs para áreas de sobrecarregadas ou de baixa potência de sinal melhora a cobertura e diminui o número de colisões, uma vez que os UAVs se encontram mais próximo dos nós móveis e a rede torna-se mais distribuída.

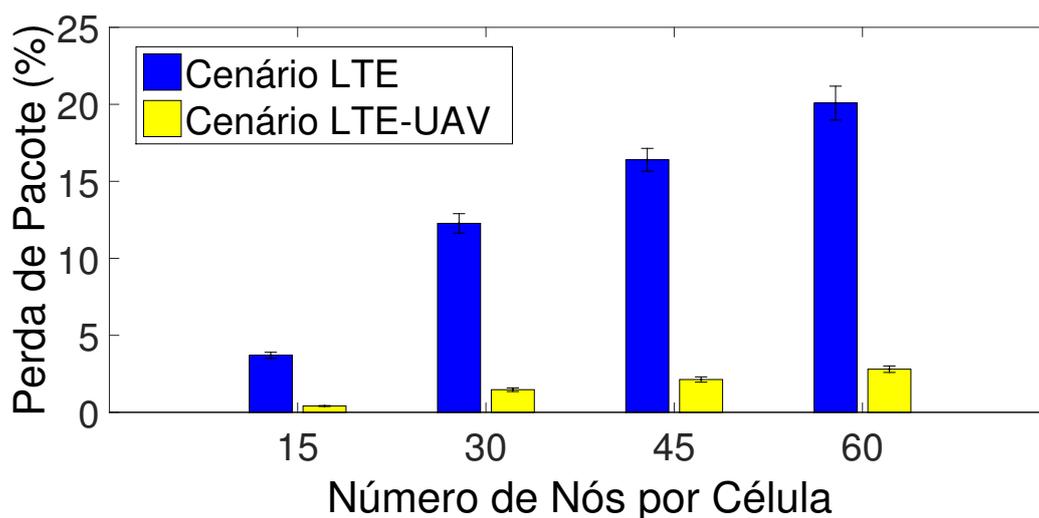


Figura 24: Aplicação VoIP

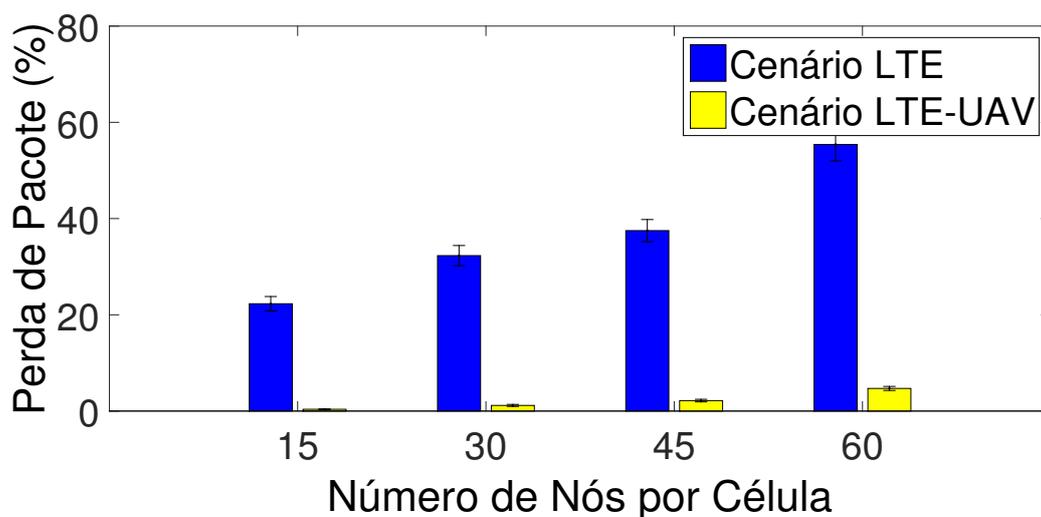


Figura 25: Aplicação de Videoconferência

As Figuras 26 e 27 mostram de forma mais clara os resultados obtidos em porcentagem e suas respectivas melhorias de vazão, atraso e perda de pacote nos cenários LTE e LTE-UAV.

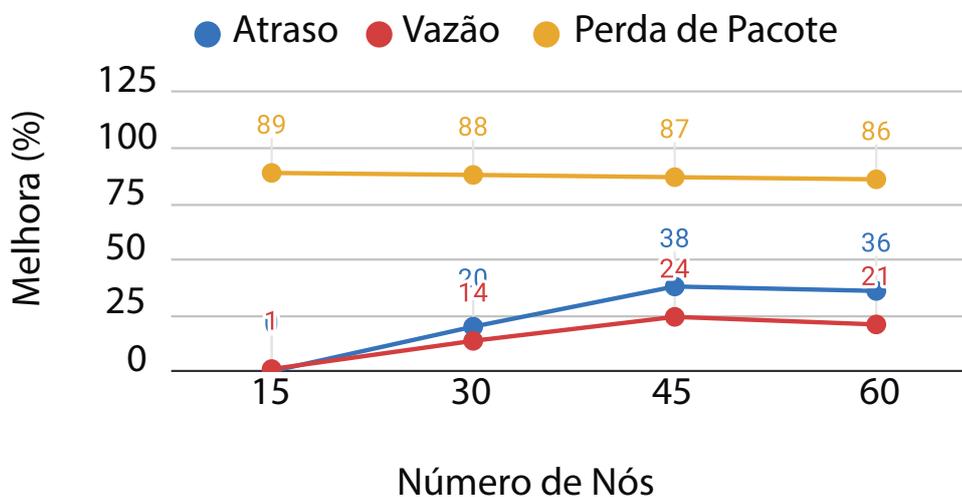


Figura 26: Aplicação VoIP

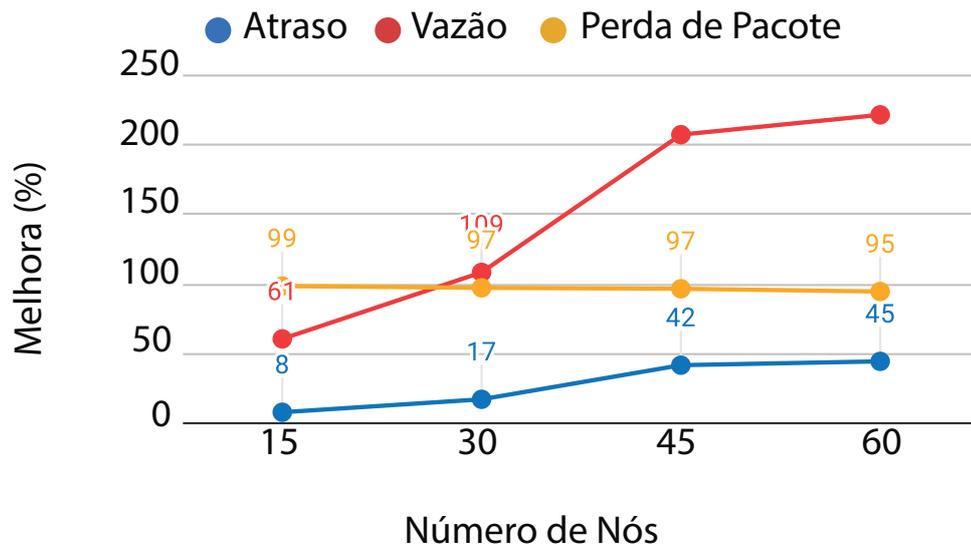


Figura 27: Aplicação de Videoconferência

5.2 Considerações Finais

Neste capítulo, foram demonstrados os resultados obtidos neste trabalho, com o sistema fuzzy proposto. Pode-se constatar que o UAV-LTE teve um desempenho satisfatório e consegue oferecer altos níveis de QoS, mostrando-se superior ao BS LTE, oferecendo melhor conexão, minimizando o número de usuários desconectados e tendo elevado número de usuários conectados na rede.

CAPÍTULO 6

Conclusão

Devido à alta demanda por taxas de dados, especialmente nas redes LTE e LTE-A, os sistemas de rádio móvel atuais estão operando cada vez mais dentro dos limites de capacidade. Conseqüentemente, são necessárias técnicas para compensar as situações de falta de célula e sobrecarga celular. Sendo assim, a utilização de UAV como BS aérea vem se tornando uma estratégia promissora para solucionar problemas relacionados a cobertura da rede.

Este trabalho traz soluções para melhorar a cobertura da rede e como consequência a sua QoS. Foi proposto uma tomada de decisão, utilizando o método fuzzy para alocar UAV para suprir áreas que se encontram com alto volume de tráfego de dados. Foram feitas análises das métricas de QoS: vazão, atraso e taxa de perda de pacote para serem mensuradas no sistema fuzzy através das variáveis linguísticas, que foram definidas em ótimo, aceitável e intolerável. A partir disso, foi gerado a base de regras para ser quantificada a qualidade da conexão para as aplicações, onde foram constituídas 24 regras com ajuda de especialistas e através de vários testes.

Para avaliar o desempenho da proposta, foram realizadas simulações no ambiente de simulação NS3, onde foram conduzidas um conjunto de simulações com sementes geradas de forma aleatória, cada cenário contém 15, 30, 45, 60 nós móveis por célula. A velocidade dos nós móveis varia de 3,6 *km/h* a 36 *Km/h*. A partir disso, foram coletados os resultados e em seguida feito análises comparativas da vazão, taxa de perda de pacote e atraso para cenários LTE e LTE-UAV para aplicações VoIP e Videoconferência. Os resultados mostraram um intervalo de confiança de 95%.

Em aplicação VoIP a vazão teve um aumento de 14% para 30 nós e 21% para 60 nós e para aplicação de videoconferência a vazão média dos nós pode chegar até 222% para um cenário de 60 nós. A perda de pacote em aplicação VoIP teve uma diminuição de 89% para 15 nós e de 86% para 60 nós e para videoconferência houve uma melhora

de 99% para 15 nós e 95% para 60 nós. O atraso em aplicação VoIP tivemos melhoras de 20% para 30 nós e 36% para 60 nós e para videoconferência foram de 17% para 30 nós e de 45% para 60 nós. A partir da nossa proposta conseguimos obter melhorias nos parâmetros de QoS com a utilização de UAV.

6.1 Contribuições da Dissertação

As principais contribuições do trabalho podem ser resumidas da seguinte forma:

- Elaboração de uma estratégia para alocação eficiente de recursos móveis utilizando sistema fuzzy para um esquema de planejamento e provimento de QoS;
- Melhoria da área de cobertura da rede, que se encontram com alto volume de tráfego, tanto de uplink quanto de downlink;
- Avaliação da rede LTE em aplicações VoIP e Videoconferência;
- Provimento de internet aos usuários em situações de desastres naturais, manifestações, eventos religiosos, shows, entre outros.
- Divulgação do trabalho, por meio dos seguintes artigos:
 1. **DIAS, S. A.**; RUIZ, I.; JÚNIOR, J.J.; CARVALHO, T.; FRANCÊS, R. Efficient Allocation of Mobile Resources using Fuzzy Systems for a QoS Planning and Delivery Scheme, 2019 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 2019.
 2. **DIAS, S. A.**; JÚNIOR, J.J.; CARVALHO, T.; FRANCÊS, R. Efficient Allocation of Mobile Resources using Fuzzy Systems for a QoS Planning, 2019 IEEE Latin-American Conference on Communications, 2019.

6.2 Trabalhos Futuros

Como possíveis melhorias deste trabalho, podem-se destacar:

- A otimização do algoritmo que define o posicionamento dos UAVs;
- Verificação do tempo que o UAV deve permanecer sobrevoando a área de cobertura;
- Avaliar a estratégia proposta com outros tipos de aplicações e cenários;
- Realizar uma análise comparativa com outras propostas de trabalhos relacionados.
- Realizar análise de handover dos UE em cenários compostos de UAV-BSs;

6.3 Dificuldades Encontradas

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram encontrados alguns obstáculos, referentes à pesquisa das tecnologias envolvidas, compreensão dos trabalhos relacionados, desenvolvimento dos algoritmo e simulações. Porém estes não impediram a realização, apenas mediram os esforços e revelaram a importância do trabalho. Pode-se destacar:

- A realização de um estudo aprofundado da tecnologia LTE, UAV e Fuzzy, compreendendo as principais características para a realização do estudo;
- A realização de um estudo aprofundado das aplicações VoIP e Videoconferência, utilizadas neste trabalho;
- Na fase de implementação e modelagem do sistema fuzzy no MATLAB, no que diz respeito a parametrização da simulação da Qualidade de Serviço da rede;
- Na fase de implementação e modelagem dos cenários LTE e LTE-UAV no NS3, no que diz respeito a parametrização da simulação.

Referências

- [Alzenad et al. 2017] Alzenad, M., El-Keyi, A., Lagum, F., and Yanikomeroğlu, H. (2017). 3-d placement of an unmanned aerial vehicle base station (uav-bs) for energy-efficient maximal coverage. *IEEE Wireless Communications Letters*, 6(4):434–437.
- [Bertoni et al. 2005] Bertoni, F. C. et al. (2005). Método de avaliação de qualidade de serviço em sistemas multimídia utilizando um sistema genético nebuloso baseado em regras.
- [Cheng et al. 2018] Cheng, F., Zhang, S., Li, Z., Chen, Y., Zhao, N., Yu, F. R., and Leung, V. C. (2018). Uav trajectory optimization for data offloading at the edge of multiple cells. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(7):6732–6736.
- [Cicek et al. 2019] Cicek, C. T., Gultekin, H., Tavli, B., and Yanikomeroğlu, H. (2019). Uav base station location optimization for next generation wireless networks: Overview and future research directions. In *2019 1st International Conference on Unmanned Vehicle Systems-Oman (UVS)*, pages 1–6. IEEE.
- [CISCO 2006] CISCO (2006). Entendendo os Codecs: Complexidade, suporte de hardware, MOS e negociação. https://www.cisco.com/c/pt_br/support/docs/voice/h323/14069-codec-complexity.html. Online; acessado em 20 Março 2019.
- [Cisco 2016] Cisco (2016). Voz sobre IP - Consumo de largura de banda por chamada. https://www.cisco.com/c/pt_br/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html. Online; acessado 20 Janeiro 2019.
- [Cisco 2017] Cisco (2017). Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>. Online; acessado 18 Novembro 2018.
- [Debasis Samanta] Debasis Samanta. Chapter 5: Defuzzification Methods. <https://cse.iitkgp.ac.in/~dsamanta/courses/archive/sca/Archives/Chapter%205%20Defuzzification%20Methods.pdf>. Online; acessado em 19 julho 2019.

- [Dernoncourt 2013] Dernoncourt, F. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Massachusetts Institute of Technology*, 21.
- [Fadlullah et al. 2016] Fadlullah, Z. M., Takaishi, D., Nishiyama, H., Kato, N., and Miura, R. (2016). A dynamic trajectory control algorithm for improving the communication throughput and delay in uav-aided networks. *IEEE Network*, 30(1):100–105.
- [Guo et al. 2014] Guo, W., Devine, C., and Wang, S. (2014). Performance analysis of micro unmanned airborne communication relays for cellular networks. *arXiv preprint arXiv:1407.0640*.
- [Gupta et al. 2015] Gupta, L., Jain, R., and Vaszkun, G. (2015). Survey of important issues in uav communication networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2):1123–1152.
- [Hasan et al. 2017] Hasan, M. Z., Al-Rizzo, H., and Al-Turjman, F. (2017). A survey on multipath routing protocols for qos assurances in real-time wireless multimedia sensor networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3):1424–1456.
- [Hellmann 2001] Hellmann, M. (2001). Fuzzy logic introduction. *Université de Rennes*, 1.
- [IBM 2018] IBM (2018). Planejando os requisitos de largura da banda da rede de áudio e vídeo. https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/pt-br/SSKTXQ_9.0.0/admin/plan/plan_av_net_bandwidth_req.html. Online; acessado em 20 Janeiro 2019.
- [ITU-T 2001] ITU-T (2001). G.1010 : End-user multimedia QoS categories. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I>. Online; acessado em 19 Janeiro 2019.
- [ITU-T 2003] ITU-T (2003). G.114 : One-way transmission time. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en>. Online; acessado em 19 Janeiro 2019.
- [ITU-T 2007] ITU-T (2007). PROPOSED AMENDMENTS TO [IMT.TECH]. http://www.ieee802.org/21/doctree/IMT-Advanced/18-07-0026-00-0000_PROPOSED_AMENDMENTS_TO_%5BIMT.TECH%5D.doc. Online; acessado 23 Abril 2019.
- [ITU-T 2009] ITU-T (2009). H.323 : Packet-based multimedia communications systems. <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.323-200912-I/en>. Online; acessado em 19 Novembro 2018.
- [Kalantari et al. 2017] Kalantari, E., Shakir, M. Z., Yanikomeroğlu, H., and Yongacoglu, A. (2017). Backhaul-aware robust 3d drone placement in 5g+ wireless networks. In *2017 IEEE international conference on communications workshops (ICC workshops)*, pages 109–114. IEEE.
- [Kalogirou 2014] Kalogirou, S. A. (2014). Chapter 11 - designing and modeling solar energy systems. *Solar Energy Engineering (Second Edition)*, pages 583–699.

- [Kayacan and Khanesar 2016] Kayacan, E. and Khanesar, M. A. (2016). Chapter 2 - fundamentals of type-1 fuzzy logic theory. *Fuzzy Neural Networks for Real Time Control Applications*, pages 13–24.
- [Li and Cai 2017] Li, Y. and Cai, L. (2017). Uav-assisted dynamic coverage in a heterogeneous cellular system. *IEEE Network*, 31(4):56–61.
- [Liu et al. 2011] Liu, W.-L., Zhang, K., Locatis, C., and Ackerman, M. (2011). Internet-based videoconferencing coder/decoders and tools for telemedicine. *TELEMEDICINE and e-HEALTH*, 17(5):358–362.
- [Lyu et al. 2016] Lyu, J., Zeng, Y., Zhang, R., and Lim, T. J. (2016). Placement optimization of uav-mounted mobile base stations. *IEEE Communications Letters*, 21(3):604–607.
- [Mizumoto and Tanaka 1981] Mizumoto, M. and Tanaka, K. (1981). Fuzzy sets and their operations. *Information and Control*, 48(1):30–48.
- [Mozaffari et al. 2016a] Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., and Debbah, M. (2016a). Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage. *IEEE Communications Letters*, 20(8):1647–1650.
- [Mozaffari et al. 2016b] Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., and Debbah, M. (2016b). Mobile internet of things: Can uavs provide an energy-efficient mobile architecture? In *2016 IEEE global communications conference (GLOBECOM)*, pages 1–6. IEEE.
- [NS-3 Network Simulator 2011] NS-3 Network Simulator (2011). Qualidade de Serviços (QoS): Serviços de QoS. <https://www.nsnam.org/>. Online; acessado em 20 Março 2019.
- [Parada and Zorzi 2018] Parada, R. and Zorzi, M. (2018). Context-aware handover in mmwave 5g using ue’s direction of pass. In *European Wireless 2018; 24th European Wireless Conference*, pages 1–6. VDE.
- [RNP 2012] RNP (2012). O que é qualidade de serviço (QoS). http://portal.rnp.br/web/rnp/noticias/-/rutelistaconteudo/O-que-e-qualidade-de-servico-QoS/500757_o80B. Online; acessado em 20 Março 2019.
- [Robert Czabanski 2017] Robert Czabanski, Michal Jezewski, J. L. (2017). Introduction to fuzzy systems. *Theory and Applications of Ordered Fuzzy Numbers*, pages 23–43.
- [Rohde et al. 2013] Rohde, S., Putzke, M., and Wietfeld, C. (2013). Ad hoc self-healing of ofdma networks using uav-based relays. *Ad Hoc Networks*, 11(7):1893–1906.
- [Schubert et al. 2017] Schubert, E., Sander, J., Ester, M., Kriegel, H. P., and Xu, X. (2017). Dbscan revisited, revisited: Why and how you should (still) use dbscan. *ACM Trans. Database Syst.*, 42(3):19:1–19:21.
- [Sharma et al. 2016] Sharma, V., Bennis, M., and Kumar, R. (2016). Uav-assisted heterogeneous networks for capacity enhancement. *IEEE Communications Letters*, 20(6):1207–1210.
- [Sharma and Srinivasan 2018] Sharma, V. and Srinivasan, K. (2018). Qos-aware routing in wireless networks using aerial vehicles. *arXiv preprint arXiv:1804.00294*.

- [Sharma et al. 2017] Sharma, V., Srinivasan, K., Chao, H.-C., Hua, K.-L., and Cheng, W.-H. (2017). Intelligent deployment of uavs in 5g heterogeneous communication environment for improved coverage. *Journal of Network and Computer Applications*, 85:94–105.
- [Shaw and Sharma 2016] Shaw, U. and Sharma, B. (2016). A survey paper on voice over internet protocol (voip). *International Journal of Computer Applications*, 139(2):16–22.
- [SILVA FILHO et al. 2019] SILVA FILHO, F. G. S. d. et al. (2019). Otimização do posicionamento de múltiplas small cells em ambientes outdoor da região amazônica utilizando enxame de partículas e polinização de flores.
- [Sun et al. 2018] Sun, Y., Wang, T., and Wang, S. (2018). Location optimization for unmanned aerial vehicles assisted mobile networks. In *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 1–6. IEEE.
- [Teleco 2019] Teleco (2019). Qualidade de Serviços (QoS): Serviços de QoS. https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialqosotm/pagina_3.asp. Online; acessado em 20 Março 2019.
- [Zadeh 1965] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3):338–353.
- [Zeng et al. 2016] Zeng, Y., Zhang, R., and Lim, T. J. (2016). Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges. *arXiv preprint arXiv:1602.03602*.
- [Zheng et al. 2018] Zheng, Z., Sangaiah, A. K., and Wang, T. (2018). Adaptive communication protocols in flying ad hoc network. *IEEE Communications Magazine*, 56(1):136–142.