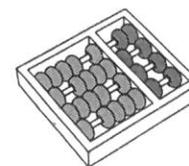


Rodolfo Ipolito Meneguette

# Uma Arquitetura de Gerência de Mobilidade para Redes Veiculares

CAMPINAS  
2013





Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Computação

Rodolfo Ipolito Meneguette

## Uma Arquitetura de Gerência de Mobilidade para Redes Veiculares

Orientador(a): **Prof. Dr. Edmundo Roberto Mauro Madeira**

Co-Orientador(a): **Prof. Dr. Luiz Fernando Bittencourt**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Computação da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO  
FINAL DA TESE DEFENDIDA POR RODOLFO  
IPOLITO MENEGUETTE, SOB ORIENTAÇÃO  
DE PROF. DR. EDMUNDO ROBERTO  
MAURO MADEIRA.

A handwritten signature in cursive script, reading "Edmundo Madeira".

---

Assinatura do Orientador

CAMPINAS  
2013

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica  
Maria Fabiana Bezerra Muller - CRB 8/6162

M524a Meneguette, Rodolfo Ipolito, 1984-  
Uma arquitetura de gerência de mobilidade para redes veiculares / Rodolfo Ipolito Meneguette. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Edmundo Roberto Mauro Madeira.  
Coorientador: Luiz Fernando Bittencourt.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação.

1. Computação móvel. 2. Sistemas de computação sem fio. 3. Arquitetura de redes de computador. 4. Redes de computadores - Protocolos. 5. Internet. I. Madeira, Edmundo Roberto Mauro, 1958-. II. Bittencourt, Luiz Fernando. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Computação. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** An architecture for mobility management for vehicular network

**Palavras-chave em inglês:**

Mobile computing

Wireless communication systems

Computer network architectures

Computer network protocols

Internet

**Área de concentração:** Ciência da Computação

**Titulação:** Doutor em Ciência da Computação

**Banca examinadora:**

Edmundo Roberto Mauro Madeira [Orientador]

Regina Borges de Araújo

Aldri Luiz dos Santos

Islene Calciolari Garcia

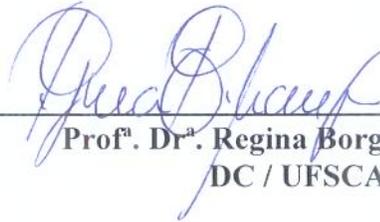
Juliana Freitag Borin

**Data de defesa:** 16-12-2013

**Programa de Pós-Graduação:** Ciência da Computação

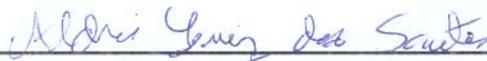
# TERMO DE APROVAÇÃO

Tese Defendida e Aprovada em 16 de dezembro de 2013, pela Banca examinadora  
composta pelos Professores Doutores:



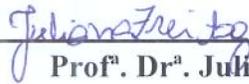
---

**Prof.ª Dr.ª Regina Borges de Araújo**  
DC / UFSCAR



---

**Prof. Dr. Aldri Luiz dos Santos**  
DI / UFPR



---

**Prof.ª Dr.ª Juliana Freitag Borin**  
IC / UNICAMP



---

**Prof. Dr. Islene Calciolari Garcia**  
IC / UNICAMP



---

**Prof. Dr. Edmundo Roberto Mauro Madeira**  
IC / UNICAMP



# Uma Arquitetura de Gerência de Mobilidade para Redes Veiculares

Rodolfo Ipolito Meneguette

16 de dezembro de 2013

**Banca Examinadora:**

- Prof. Dr. Edmundo Roberto Mauro Madeira (*Orientador*)
- Prof. Dr. Nelson Luis Saldanha da Fonseca  
Instituto de Computação - UNICAMP
- Prof. Dr. Leandro Aparecido Villas  
Instituto de Computação - UNICAMP
- Profa Dra. Regina Borges de Araújo  
Departamento de Computação - UFSCAR
- Prof. Dr. Aldri Luiz dos Santo  
Departamento de Informática - UFPR
- Profa. Dra. Islene Calciolari Garcia  
Instituto de Computação - UNICAMP (Suplente)
- Profa. Dra. Juliana Freitag Borin  
Instituto de Computação - UNICAMP (Suplente)
- Prof. Dr. Jó Ueyama  
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP (Suplente)



# Abstract

Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) constitutes a subclass of mobile Ad Hoc Networks that provides a wireless connection between vehicles and between vehicles and roadside devices. These networks provide applications that focus on driver safety, traffic efficiency of vehicles on public roads, and in the comfort and entertainment to passengers throughout their journey. Some of these applications need to be connected to the Internet via an access point in the roadside, like a cell tower or *WiFi* tower. This connection can generate an overhead of control messages and could suffer a change of access point that can impact the performance of the application. Besides the interface connected to the access point, the vehicle is equipped with other network interfaces linked with different technologies, thus the vehicular application can take advantage of the simultaneous use of these various network interfaces, thereby maximizing throughput and reducing latency. However, this use can increase the overhead of control message, and the time of exchange of one access point to another, thus affecting the network throughput and consequently the performance of the application. To overcome these challenges and provide a good quality of service to the application, i.e., attend the minimum requirements that applications for vehicular networks need, we developed and evaluated an architecture for flow mobility management based on classes of applications of vehicular networks. The architecture aims to minimize the time of the exchange of the connection flow, decrease the amount of packet loss, and reduce the delivery time of messages in order to comply with the minimum requirements for vehicular application classes as well as to maximize the application performance. The architecture was implemented in Network Simulator version 3 to analyze the behavior of the architecture in various types of scenarios. Besides the analysis of the architecture, we also analyzed some of the modules of the architecture separately. The results of these analyses of both the architecture and its modules showed a low delivery time, lower packet loss and lower delay.



# Resumo

Redes Ad Hoc Veiculares (VANETs) constituem uma subclasse das redes Ad Hoc móveis que provê uma conexão sem fio entre veículos bem como entre veículos e dispositivos de acostamento. Essas redes proveem aplicações que focam na segurança do condutor, em fornecer maior eficiência do tráfego dos veículos nas vias públicas e em trazer algum conforto e entretenimento para os passageiros ao longo de sua viagem. Algumas dessas aplicações precisam estar conectadas com a internet através de um ponto de acesso que encontra-se no acostamento, como uma torre celular ou uma torre *WiFi*. Essa conexão pode gerar uma sobrecarga de mensagens de controle e pode sofrer uma troca de ponto de acesso que impacta no desempenho da aplicação. Além da interface de conexão com o ponto de acesso, o veículo é equipado com várias outras interfaces de redes vinculadas a diferentes tecnologias, podendo tirar vantagens do uso simultâneo dessas diversas interfaces de rede, com isso, maximizando a vazão e diminuindo a latência. Entretanto, esse uso pode aumentar ainda mais a sobrecarga das mensagens de controle, tendo como consequência o aumento do tempo de troca de um ponto de acesso a outro, afetando a vazão da rede e o seu desempenho. Para superar esses desafios e prover uma boa qualidade de serviço para a aplicação, ou seja, atender aos requisitos mínimos que as aplicações das redes veiculares necessitam, desenvolvemos e avaliamos uma arquitetura para o gerenciamento de mobilidade de fluxo baseado nas classes de aplicações das redes veiculares. A arquitetura tem como objetivo minimizar o tempo da troca de conexão do fluxo, diminuir a quantidade de perda de pacotes e diminuir o tempo de entrega das mensagens, a fim de cumprir com os requisitos mínimos das classes de aplicação veicular, bem como maximizar o desempenho das aplicações. A arquitetura foi implementada no *Network Simulator* versão 3 para análise do comportamento da arquitetura em diversos tipos de cenário de simulação. Além da análise da arquitetura, também foram analisados alguns dos seus módulos separadamente. O resultado dessas análises, tanto dos módulos como da arquitetura, mostrou que a arquitetura proposta apresentou um baixo tempo de entrega, com menor perda de pacotes e menor atraso.





*‘A minha querida mãe, Maria Aparecida Ipolito Meneguette, pelo amor, incentivo e dedicação, sempre acreditando no meu sucesso.*

*Ao meu pai, Cícero Meneguette, certamente orgulhoso por mais um importante passo na minha vida.*

*Aos meus irmãos, que sempre torceram para que tudo desse certo.*

*A Lisangela, minha esposa, pela paciência nos momentos difíceis.*

*Aos meus queridos amigos, que mesmo pela distância ainda continuaram muito presentes.*

# Agradecimentos

A Deus, acima de tudo e todos, por todas as oportunidades que tive e ainda terei.

Aos meus Pais (Cícero Meneguette e Maria Aparecida I Meneguette), meus irmãos, pessoas sem as quais eu não seria o que sou hoje.

A todos os meus familiares pela confiança irrestrita.

À minha esposa Lisangela Cristina da Costa, pela paciência durante os inúmeros finais de semana e feriados os quais passei à frente do computador.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, mesmo quando distantes.

A todos meus amigos do LRC, pelas discussões que contribuíram para a realização de nossos trabalhos.

Ao Prof Dr Edmundo. R. M. Madeira e ao Prof Dr. Luiz F. Bittencourt, pela motivação, encorajamento, amizade e direção durante aos meus quatro anos de estudo na pós-graduação.

Aos professores do Instituto de Computação da Unicamp, principalmente aos que tive a oportunidade de conhecer durante o doutorado.

Aos órgãos de fomento CAPES e CNPq, que fomentaram a pesquisa possibilitando a realização dessa tese e a interação com outros pesquisadores



*“Toda Marcha, por mais longa e importante que seja, começa com o primeiro passo. Dar esse primeiro passo, às vezes, exige grande determinação, esforço monumental e muita coragem. Principalmente se o passo foi em direção a um caminho desconhecido, com o qual não estamos acostumados a lidar, por conta dos vícios adquiridos”*

Sabedoria popular chinesa



# Sumário

Abstract	ix
Resumo	xi
Dedicatória	xiii
Agradecimentos	xvii
Epigrafe	xix
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Conceitos Básicos</b>	<b>5</b>
2.1 Redes Veiculares . . . . .	5
2.1.1 Características de uma Rede Veicular . . . . .	6
2.1.2 Aplicações . . . . .	7
2.2 Tecnologia Celular . . . . .	8
2.2.1 WiMAX . . . . .	8
2.2.2 LTE . . . . .	9
2.3 Gerência de Mobilidade . . . . .	9
2.3.1 Handoff . . . . .	10
2.3.2 Proxy Mobile IPv6 . . . . .	11
2.3.3 IEEE 802.21 . . . . .	12
2.4 Considerações Finais . . . . .	14
<b>3 Trabalhos Relacionados</b>	<b>16</b>
3.1 Relevância do Protocolo 802.21 . . . . .	16
3.2 Divisão de Fluxo . . . . .	17
3.3 Gerência de Divisão de Fluxo . . . . .	19
3.4 Mecanismo de Decisão de <i>Handoff</i> . . . . .	21



3.5	Considerações Finais . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Uma Arquitetura de Gerência de Mobilidade para Redes Veiculares</b>	<b>24</b>
4.1	Visão Geral da Arquitetura . . . . .	24
4.2	Divisão do Fluxo de Informação . . . . .	27
4.3	Extensão do Protocolo 802.21 . . . . .	28
4.3.1	Extensão do Protocolo 802.21 no Veículo . . . . .	28
4.3.2	Extensão do Protocolo 802.21 no MAG . . . . .	29
4.3.3	Extensão do Protocolo 802.21 no LMA . . . . .	30
4.4	Procedimento de <i>Handoff</i> . . . . .	30
4.4.1	Procedimento de <i>Handoff</i> no Veículo . . . . .	31
4.4.2	Procedimento de <i>Handoff</i> no MAG . . . . .	32
4.4.3	Procedimento de <i>Handoff</i> no LMA . . . . .	34
4.5	Lógica <i>Fuzzy</i> . . . . .	35
4.6	Considerações Finais . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Avaliação da SFMMA</b>	<b>40</b>
5.1	Relevancia do Protocolo 802.21 . . . . .	40
5.1.1	Cenário com Ponto de Acesso WiMax e <i>WiFi</i> . . . . .	41
5.1.2	Cenário com Ponto de Acesso LTE e <i>WiFi</i> . . . . .	45
5.2	Divisão do Fluxo . . . . .	48
5.3	Cenários de Simulação para a Avaliação do Núcleo da Proposta . . . . .	55
5.3.1	Gerenciamento de Divisão de Fluxo . . . . .	57
5.3.2	Mecanismo de Decisão de <i>Handoff</i> . . . . .	64
5.3.3	Considerações Finais . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>72</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>75</b>



# Lista de Acrônimos

ADSL	<i>Assymmetric Digital Subscriber Line</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
CN	<i>Correspondent Node</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CVHO	<i>Cognitive Vertical Handover</i>
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communications</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FPMIPv	<i>Fast Handoffs for PMIPv6</i>
HA	<i>Home Agent</i>
HAck	<i>Handover Acknowledge</i>
HAF	<i>Handover Acknowledge for Flow Mobility</i>
HI	<i>Handover Initiate</i>
HIF	<i>Handoff Initiation for Flow Mobility</i>
HNP	<i>Home Network Prefixes</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>



HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IE	<i>Information Elements</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
ISA	<i>Interface-Status-and-Action</i>
ITS	<i>Intelligent Transport System</i>
LMA	<i>Local Mobility Anchor</i>
LoS	<i>Line of sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MACHU	<i>Multi-Access network Handoff Algorithm for vehicular environments</i>
MAG	<i>Mobile Access Gateway</i>
MANET	<i>Mobile Ad-hoc Network</i>
MEXT	<i>IETF Mobility Extensions for IPv6</i>
MICS	<i>Media Independent Command Service</i>
MIES	<i>Media Independent Event Service</i>
MIHF	<i>Media Independent Handover Function</i>
MIS	<i>Media Independent Information Service</i>
MIMO	<i>Multiple In Multiple Out</i>
MIPv6	<i>Mobile Ip version 6</i>
MN	<i>Mobile Node</i>
MSM	<i>Multilink Striping Management</i>
NETEXT	<i>IETF-based Network Mobility Extensions</i>
NLOS	<i>Non Line of Sight</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>



SFMMA	<i>Seamless Flow Mobility Management Architecture</i>
PMIPv6	<i>Proxy Mobile IPv6</i>
PoA	<i>Point of Access</i>
PoS	<i>Point of Service</i>
SIPTO	<i>Selective IP Traffic Offload</i>
SNR	<i>Signal-to-noise</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
VANETs	<i>Vehicular Ad-hoc Network</i>
VIFQ	<i>Virtually Isolated FIFO Queueing</i>
VFHS	<i>Vehicular Fast Handover Scheme</i>
WAVE	<i>Wireless Access in Vehicular Environments</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>



# Lista de Tabelas

3.1	Trabalhos Relacionados. . . . .	17
3.2	Trabalhos Relacionados com a Divisão de Fluxo. . . . .	18
3.3	Trabalhos Relacionados com a Gerência de Divisão de Fluxo. . . . .	20
3.4	Trabalhos Relacionados com Mecanismo de Decisão de <i>Handoff</i> . . . . .	22
4.1	Exemplo dos Parâmetros do Fluxo. . . . .	28
4.2	Matriz AHP de Fator de Influência. . . . .	37
4.3	Normalização da Matriz do Fator de Influência. . . . .	37
4.4	Regras do Fluxo de Segurança. . . . .	38
5.1	Vazão da Rede para o Mapa Real, em Kbps. . . . .	59



# Lista de Figuras

2.1	Topologia e componentes do PMIPv6. . . . .	12
2.2	Serviços MIH (retirada de [17]). . . . .	13
4.1	Componentes do SFMMA. . . . .	25
4.2	Elementos de informação utilizados na arquitetura SFMMA. (a) elemento de informação voltado para a interface de rede. (b) elemento de informação focado nos tipos de fluxos que passam pelo veículo. (c) elemento de informação com valores de cada fluxo de mensagem. . . . .	29
4.3	Arquitetura MAG. . . . .	30
4.4	Definição do IE-CONTAINER-MAG. . . . .	31
4.5	Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo nó móvel devido à disponibilidade de uma nova interface de rede. . . . .	32
4.6	Diagrama de Sequência para troca de interface devido à iniciativa do nó móvel. . . . .	33
4.7	Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo MAG. . . . .	34
4.8	Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo LMA. . . . .	35
4.9	Representação de números triangulares Fuzzy. . . . .	36
5.1	Abstração do ambiente virtual. . . . .	41
5.2	Topologia com ponto de acesso WiMax e um ponto de acesso <i>WiFi</i> . . . . .	42
5.3	Vazão por interface de rede considerando arquiteturas com o protocolo 802.21, com o protocolo MIPv6 e com ambos, usando as tecnologias <i>WiFi</i> e WiMax. . . . .	42
5.4	Vazão da rede considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e WiMax. . . . .	43
5.5	Perda de pacotes considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e WiMax. . . . .	44
5.6	Tempo de <i>handoff</i> considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e WiMax. . . . .	44



5.7	Tempo de atraso dos pacotes considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e WiMax. . . .	45
5.8	Topologia com ponto de acesso LTE e um ponto de acesso <i>WiFi</i> . . . . .	46
5.9	Vazão por interface de rede considerando arquiteturas com ou sem o uso do protocolo PMIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e LTE. . . . .	46
5.10	Vazão Média considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e LTE. . . . .	47
5.11	Perda de pacotes considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e LTE . . . . .	48
5.12	Tempo de <i>handoff</i> considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e LTE. . . . .	49
5.13	Atraso médio considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias <i>WiFi</i> e LTE . . . . .	49
5.14	Mapa de Campinas. . . . .	50
5.15	Topologia com ponto de acesso LTE e um ponto de acesso 802.11p. . . . .	51
5.16	Perda de pacotes com divisão de fluxo dos dados. . . . .	52
5.17	Vazão da rede com divisão de fluxo dos dados. . . . .	53
5.18	Atraso médio com divisão de fluxo dos dados. . . . .	54
5.19	Atraso por Aplicação com divisão de fluxo dos dados. . . . .	54
5.20	Topologia da simulação, para avaliação do núcleo da proposta. . . . .	56
5.21	Tempo médio de <i>handoff</i> do gerenciamento de divisão de fluxo. . . . .	58
5.22	Perda de pacote do gerenciamento de divisão de fluxo. . . . .	60
5.23	Vazão da rede para o mapa Manhattan do gerenciamento de divisão de fluxo. . . . .	61
5.24	Atraso médio do gerenciamento de divisão de fluxo. . . . .	62
5.25	Atraso médio por aplicação do gerenciamento de divisão de fluxo. . . . .	63
5.26	Média do Tempo de <i>handoff</i> do mecanismo de decisão de <i>handoff</i> . . . . .	67
5.27	Média da perda de pacotes do mecanismo de decisão de <i>handoff</i> . . . . .	68
5.28	Vazão da rede no mapa do Manhattan do mecanismo de decisão de <i>handoff</i> . . . . .	69
5.29	Média do atraso do mecanismo de decisão de <i>handoff</i> . . . . .	70
5.30	Média do atraso por Aplicação do mecanismo de decisão de <i>handoff</i> . . . . .	71



# Capítulo 1

## Introdução

*Vehicle Ad-hoc Network* (VANETs) constituem uma subclasse das redes Ad Hoc móveis que provê uma conexão sem fio entre veículos, bem como entre veículos e dispositivos de acostamento. Essas redes têm recebido uma particular atenção da comunidade de pesquisa na área de redes devido aos seus benefícios. O benefício da pesquisa nessa área está relacionado a dois aspectos: (i) a comunicação e a cooperação automática entre os veículos, oferecendo um grande potencial na redução do número de acidentes com veículos; e (ii) algumas aplicações podem melhorar o conforto para os passageiros de carros, ônibus e trens, bem como auxiliar os condutores a trafegar com maior eficiência nas estradas. Por essas razões, Sistemas de Transporte Inteligentes (*Intelligent Transport System* - ITS) que visam agilizar as operações dos veículos, gerenciar o tráfego de veículos, ajudar os motoristas com a segurança e outras informações, juntamente com o provisionamento de aplicações de conveniência para os passageiros, já não estão mais confinados aos laboratórios e instalações de teste de empresas [24].

Uma forma de classificar as aplicações das redes veiculares é dividir essas aplicações em duas categorias principais [8]: seguras e não seguras. Aplicações da classe segura compreendem a segurança pública, gestão de tráfego, coordenação de tráfego e assistência ao condutor. As aplicações não-seguras incluem suporte de informações de viagem e conforto, além de aplicações que visam o entretenimento dos passageiros, que incluem jogos, troca de informações multimídia, entre outras.

Algumas das aplicações das redes veiculares precisam estar conectadas com a Internet através de um ponto de acesso que encontra-se no acostamento, como uma torre celular ou uma torre *WiFi*. Essa conexão poderá gerar uma sobrecarga de mensagens de controle e também sofrer uma troca de ponto de acesso, o que pode impactar no desempenho da aplicação. O desempenho da aplicação pode ser melhorado com o uso de mais de uma interface simultaneamente. Supondo que um veículo é equipado com múltiplas interfaces de rede vinculadas a tecnologias de redes diferentes, este pode se conectar a domínios e

redes de acesso diferentes. Embora esses veículos possam se conectar a diferentes tecnologias de rede simultaneamente, hoje em dia os veículos estão limitados a escolher uma interface padrão para envio e recebimento de informações. Essa limitação está relacionada com o atual modelo de gestão de múltiplas interfaces, onde várias interfaces estão ligadas ao sistema operacional [57]. Normalmente, os sistemas operacionais utilizam arquivos de configuração do usuário, ou baseiam-se no tipo de aplicação para selecionar uma interface de rede padrão para enviar e receber dados [33].

Para permitir a utilização de mais de uma interface de rede simultaneamente, a *Internet Engineering Task Force* (IETF) tem desenvolvido a tecnologia de mobilidade de IP, que permite dividir os fluxos IP entre várias ligações de acordo com os requisitos da aplicação e das preferências do usuário. Existem alguns grupos do IETF, tais como o *IETF mobility extensions for IPv6* (MEXT) [56] e o *IETF-based network mobility extensions* (NETEXT) [9], que estão trabalhando no desenvolvimento e na elaboração de um protocolo que permite a utilização de mais do que uma interface de rede simultaneamente. O MEXT padronizou a mobilidade de fluxo baseada no IP móvel (MIPv6), permitindo ligações de fluxo para o nó móvel com múltiplas interfaces [56]. Esse método tem um problema de desperdício de recursos do espectro. Como a criação do túnel bi-direcional IP-in-IP é através da interface sem fio e a troca de mobilidade está relacionada com a camada 3 (L3), a mensagem de sinalização ocorre através do enlace sem fio causando uma sobrecarga nesse enlace [28]. Para evitar essa sobrecarga o NETEXT discutiu o uso de uma mobilidade de fluxo IP baseada no *Proxy Mobile IPv6* (PMIPv6). Essa solução também tem limitações, pois a mobilidade de fluxo do nó móvel (MN- *Mobile Node*) deve ser iniciada e controlada apenas por entidades que se encontram dentro da rede [28]. Além disso, existem algumas limitações no apoio à mobilidade do fluxo [14]. Embora esses protocolos lidem com várias interfaces ao mesmo tempo, nenhum desses grupos de desenvolvimento especifica um protocolo ou uma política de seleção da mobilidade do fluxo, ou seja, para qual das interfaces um determinado fluxo deverá ser mapeado e quando uma mudança nesse mapeamento deve ocorrer. A fim de contornar as limitações encontradas e permitir o movimento dinâmico dos fluxos individuais de acordo com o controle de fluxo e, além disso, garantir que os requisitos mínimos de cada classe de aplicação das redes veiculares sejam cumpridos.

Esta tese tem como objetivo verificar se o uso de mais de uma interface simultaneamente com um gerenciador de mobilidade de fluxo baseado nas classes de aplicações das redes veiculares permitirá o uso mais eficiente das tecnologias que fazem parte de infraestrutura de acostamento das redes veiculares. Motivados a desenvolver uma arquitetura de gerência de mobilidade de fluxo baseada nas classes de aplicação veiculares. A arquitetura proposta lida com diferentes interfaces de rede ao mesmo tempo, buscando a maximização da vazão da rede e mantendo a latência e a taxa de perda de pacotes baixa.

Nossa arquitetura considera que os aplicativos estão divididos em três classes, de acordo com os objetivos gerais de aplicações da rede veicular: segurança, conforto e usuário (entretenimento). Além disso, este modelo considera que os veículos estão se movendo em uma cidade ou em uma estrada, e que as pessoas nos veículos estão executando mais de uma classe de aplicativo ao mesmo tempo. O objetivo dessa arquitetura é maximizar a vazão da rede, mantendo a latência e a perda de pacotes dentro dos requisitos mínimos das aplicações veiculares. Para isso criamos um gerenciador de fluxo baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e no estado de cada rede ativa no ambiente, buscando garantir que os requisitos mínimos de cada fluxo sejam cumpridos. A arquitetura proposta difere de outras arquiteturas para redes veiculares, pois esta arquitetura considera as necessidades de cada classe de aplicação tais como a vazão, a latência e a perda de pacote. Além disso, esta arquitetura usa o estado da rede nas interfaces de redes ativas para executar a divisão do fluxo. Outra diferença está no momento da troca de fluxo, não ficando somente a cargo dos nós do núcleo da rede a inicialização da troca de fluxo, mas também a cargo do nó móvel.

As principais contribuições deste trabalho são:

- Detalhamento do estado da arte em algoritmos para o gerenciamento de mobilidade focando no protocolo 802.21, em algoritmos para o escalonamento de envio de pacotes para múltiplas interfaces, algoritmos de gerenciamento de mobilidade de fluxo e políticas de decisão para *handoff*;
- Proposta de uma arquitetura para o gerenciamento da mobilidade do fluxo em múltiplas interfaces de rede, a *Seamless Flow Mobility Management Architecture* (SFMMA). A arquitetura proposta realiza o gerenciamento do fluxo das aplicações em mais de uma interface de rede simultaneamente;
- Avaliação de desempenho do componente que verifica a viabilidade do uso do protocolo 802.21 através de uma comparação entre a rede *WiFi* e a rede WiMax [37] e uma outra comparação entre a rede *WiFi* e a LTE [39];
- Proposta e avaliação do mapeamento das aplicações das redes veiculares em 3 fluxos de dados para mais de uma interface de rede ativa simultaneamente, o *Multi-Network Packet Scheduling* [41], que realiza o escalonamento das mensagens em múltiplas interfaces de rede, através de simulações realizadas no NS-3;
- Avaliação da arquitetura como um todo através do uso de simulações realizadas no NS-3, e;
- Proposta e avaliação dessa nova política de decisão de *handoff* baseada em lógica *Fuzzy* [38], para o melhoramento do desempenho da arquitetura, através do uso de

simulação realizada no NS 3.

Este documento está organizado da seguinte maneira: No Capítulo 2 são discutidos os principais conceitos de redes veiculares, suas características, suas aplicações; também discutimos algumas tecnologias de celulares, tais como LTE e WiMax e por final discutimos o gerenciamento de mobilidade. No Capítulo 3 são apresentados alguns trabalhos relacionados a cada parte desta tese, tais como a importância do protocolo 802.21, o gerenciamento de divisão de fluxo e o mecanismo de decisão de *handoff*. No Capítulo 4 é apresentada a arquitetura de gerência de fluxo de mobilidade, o *Seamless Flow Management Architecture* (SFMMA), mostrando uma visão geral da arquitetura de como foi realizada a divisão do fluxo das aplicações, descrevendo as extensões feitas no protocolo 802.21 necessárias para os procedimentos de troca de fluxo, bem como as políticas de troca baseadas na lógica fuzzy. No Capítulo 5 é apresentado o cenário de simulação de cada parte do projeto bem como os resultados obtidos. O Capítulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho e propostas de trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Conceitos Básicos

Neste capítulo apresentamos alguns conceitos básicos importantes para o entendimento deste trabalho, tais como as redes veiculares, seus principais conceitos, suas características e principais tipos de aplicação. Além disso, apresentamos os conceitos sobre tecnologias de celular, incluindo WiMax e LTE, e por final abordamos conceitos sobre Gerência de Mobilidade, abordando *handoff* e alguns protocolos, tais como PMIPv6 e o protocolo 802.21.

### 2.1 Redes Veiculares

Redes Ad Hoc Veiculares (VANETs) constituem uma subclasse de redes ad hoc e têm como objetivo promover a comunicação entre veículos e/ou entre veículos e uma infraestrutura de acostamento. Pode-se utilizar as torres da telefonia celular ou mesmo uma torre *WiFi* de acesso externo para essa comunicação [19].

Em 1999, a *Federal Communications Commission* (FCC) alocou um espectro de frequência para a comunicação inter veicular e veicular com uma infraestrutura de acostamento e estabeleceu regras de serviços e licenças para o *Dedicated Short Range Communications* (DSRC) em 2003 [35]. DSRC é um serviço de comunicação que utiliza uma banda de 5.85-5.925GHz (banda de 5.9GHz) com um espectro de 75MHz, com o objetivo de fornecer capacidade de comunicação sem fio para aplicações de transporte a uma distância de um quilômetro [23]. DSRC permite dois tipos de modelos de operação [12]:

- Modo Ad Hoc: Caracterizado pela rede de vários saltos distribuídos – tipicamente na comunicação entre veículos.
- Modo infra-estruturado: Caracterizado por uma rede móvel centralizada de um salto – comunicação entre um veículo e uma estrutura de acostamento (gateway).

O padrão desenvolvido pela *American Society for Testing and Material* (ASTM), conhecido como padrão ASTM E2213, destina o DSRC a ser uma extensão do IEEE 802.11, sendo uma tecnologia para o ambiente de veículo em velocidade alta. A camada física (PHY) do DSRC é adaptada da IEEE 802.11a PHY, baseada na tecnologia de *orthogonal frequency division multiplex* (OFDM). A camada de controle de acesso múltiplo (MAC) do DSRC é muito semelhante à do IEEE 802.11 MAC, conhecida como o *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE), baseada no *carrier sense multiple access with collision avoidance* (CSMA / CA), sendo um protocolo com algumas modificações [55].

### 2.1.1 Características de uma Rede Veicular

O desenvolvimento de aplicações ou serviços para VANETs faz uso de técnicas próprias ou modificadas das redes sem fio, pois VANETs são diferentes das redes sem fio convencionais. As redes VANET não apenas sofrem rápida mudança em suas conexões, mas também têm que lidar com diferentes fluxos de veículos nas vias [24].

A seguir serão apresentadas as características da rede VANET e suas diferenças e semelhanças com uma rede sem fio tradicional.

- Auto organizáveis: Essa é uma característica herdada das redes sem fio. Sendo as redes veiculares uma subclasse dessas redes, passando assim, à rede, a capacidade de auto-organizar.
- Mobilidade: Os veículos de uma rede veicular possuem rápida mobilidade, como um automóvel que pode atingir uma alta velocidade, mas podem ter limitações em sua trajetória: ficam restritos às vias públicas, rodovias, isto é, movimentam-se somente em locais onde carros possam trafegar.
- Velocidade de Transmissão: A troca de informação em redes VANETs é rápida, pois os veículos podem atingir velocidades altas e inconstantes. Podem também trafegar em direções opostas e terem somente alguns segundos para transmitir seus dados.

As redes VANET, diferentemente das outras redes sem fio convencionais, não apenas sofrem rápida mudança em sua conexão, mas também têm que lidar com diferentes tipos de densidades da rede.

- Topologia: A mudança na topologia é rápida, tornando difícil o seu gerenciamento, devido à alta velocidade relativa entre os veículos na rede. Já nas redes *WiFi* tradicionais a frequência de mudança de topologia é mais baixa [6]
- Energia: Na rede sem fio (MANET), os veículos possuem limitação de energia, isto é, os dispositivos portáteis como o palm, notebook ou sensores, ficam restritos

ao tempo das baterias em lugares onde não há uma fonte de energia elétrica, e possuem uma limitação no seu poder computacional, pois a sua arquitetura de hardware é restrita. Já nas VANET, os veículos podem ser equipados com ampla potência/energia e com recursos computacionais significativos [43].

- Largura de banda: Possui largura de banda restrita, ficando dependente da capacidade do hardware de comunicação como todos os dispositivos que possuem tecnologia sem fio, como as redes sem fio tradicionais.
- Fragmentação da rede: A fragmentação da rede ocorre devido ao alcance do raio de comunicação e pelo elevado dinamismo dos veículos.

Embora a rede MANET possa experimentar períodos transitórios de perda de conectividade, na VANET, especialmente sob condições de tráfego ínfimo, períodos prolongados de desconexão são frequentes.

### 2.1.2 Aplicações

O potencial impacto social que as redes veiculares apresentam é confirmado pelo aumento de consórcios e de iniciativas que envolvem fabricantes de veículos automotivos, agências governamentais, universidades, dentre outras instituições.

Embora o impulso inicial para VANET fosse segurança do trânsito, outras preocupações foram surgindo. Alguns exemplos mais discutidos atualmente são duas importantes classes de aplicações: a classe *segurança* e a classe *não segurança* [27].

- Segurança: É a classe de aplicação que visa o aumento da segurança dos motoristas, através da disseminação das informações de algum acidente que tenha ocorrido na estrada ou na rua, como localização geográfica do veículo, entre outras informações referentes à segurança do condutor e de seus passageiros. Essas informações poderão servir ao motorista ou poderão ativar alguma sinalização na pista. Como exemplo, o sistema de aviso de emergência, que faz o envio de algum evento nas vias sobre algum acidente que ocorreu.
- Não segurança: É a classe de aplicação que visa o conforto do passageiro, a eficiência do tráfego e a otimização de rota como, por exemplo, Sistemas de Informação de Tráfego, interação entre os passageiros dos veículos através de software de entretenimento e comunicação, como *download* de músicas, *chats* e mensagens de voz, entre outros.

## 2.2 Tecnologia Celular

A Terceira Geração (3G) de celulares capacita aos aparelhos, além das funcionalidades das gerações anteriores, altas taxas de transmissão de dados e multimídia a picos de 140 Kbps, 400 Kbps e 2Mbps de acesso por comunicações UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) e WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) com suas variantes, com isso, a terceira geração de celulares suporta serviços de alta capacidade, permite acesso à internet, alta taxa de transmissão de dados, permite assistir TV no aparelho celular, fazer uso de jogos 3D com múltiplos jogadores, utilizar ferramentas de busca, serviços de localização, de teleconferência, tornando o celular uma estação móvel de entretenimento.

Há duas modalidades de comunicação utilizadas pela tecnologia 3G de telefonia móvel conhecidas como TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*). TDD é um método semelhante ao funcionamento do TDMA (*Time Division Multiple Access*), onde as transmissões de *uplink* e *downlink* utilizam a mesma faixa de frequência, usando intervalos sincronizados dos períodos. Assim, os intervalos do tempo são divididos tanto na transmissão quanto na recepção.

FDD é um método semelhante ao funcionamento do AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), onde as transmissões do *uplink* e do *downlink* empregam duas faixas de frequência distintas atribuídas para uma única conexão. Devido a ambas as modalidades de comunicação integrarem os aparelhos de comunicação 3G, quando o aparelho migrar para uma posição geográfica onde seja adotada uma modalidade disponível diferente, permite-se a realocação automática do módulo de transmissão, fazendo uso do espectro disponível de forma eficiente.

Os serviços da terceira geração de celulares podem operar tanto nas frequências que as operadoras de celulares já possuem (como em 850 MHz e 2100 MHz), como em frequências destinadas especificamente para operações da tecnologia 3G (2.1 GHz).

As tecnologias da próxima geração de celulares que já estão sendo utilizadas são o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) e o LTE (*Long Term Evolution*), para que a rede possa fornecer maior capacidade de banda com um custo menor. A seguir descrevemos essas duas tecnologias

### 2.2.1 WiMAX

WiMAX ou WirelessMAN (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) é o nome para o padrão IEEE 802.16. O padrão é uma alternativa de acesso a banda larga tradicional, como sistemas coaxiais utilizando modem a cabo, ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) e fibra ótica. O WiMAX oferece acesso sem fio em alta velocidade

numa ampla área geográfica. Além disso, não há necessidade de investimento em uma infraestrutura de alto custo (como acontece numa rede de acesso banda larga cabeada), proporcionando um acesso banda larga ubíquo com um custo mínimo [48].

O padrão que define a interface aérea e o protocolo de acesso ao meio para redes metropolitanas sem fio funcionam na frequência de 10 a 66 GHz em sua versão inicial (2002) e é necessário que os pares estejam em linha de visada direta (*Line of sight* - LoS). A segunda versão do padrão, o 802.16a (2003) não requer transmissão com visada direta (*non line of sight* - NLOS) e funciona também nas frequências de 2 a 11 GHz. O alcance médio do WiMAX é cerca de 50 km e as taxas de transferência são por volta de 72 Mbps [44].

### 2.2.2 LTE

O LTE (*Long Term Evolution*) é um padrão de redes de comunicação móveis estabelecido pelo 3GPP e foi concebido para manter a compatibilidade com o GSM e o UMTS. Porém o LTE se difere pelo uso otimizado do seu espectro no *downlink*, utilizando um sistema de antenas MIMO (*Multiple In Multiple Out*), combinado com uma multiplexação *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) no *downlink* e *Single Carrier FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*) no *uplink* para conseguir utilização eficiente do espectro [59]. O LTE pode ser utilizado na largura de banda de 1,4 MHz a 20 MHz e opera nos modos FDD e TDD permitindo uma velocidade de 100Mb/s de *downlink* e 50Mb/s de *uplink*[7].

## 2.3 Gerência de Mobilidade

A gerência de mobilidade contém dois componentes principais [4]: gerência de localização e gerência de *handoff*. A gerência de localização permite ao sistema rastrear a localização dos nós móveis entre comunicações consecutivas. A gerência de *handoff* permite que dispositivos móveis troquem de rede mantendo a conexão ativa.

Nos sistemas de próxima geração existem dois tipos de *roaming* para os dispositivos móveis: Intra-sistema (Intra-domínio) e inter-sistema (Inter-domínio). O *roaming* intra-sistema acontece na movimentação de dispositivos entre células diferentes do mesmo sistema. Técnicas de gerência de mobilidade intra-sistema são baseadas nos mesmos protocolos e interfaces de rede. Já o *roaming* inter-sistema ocorre na movimentação de dispositivos entre *backbones*, protocolos e tecnologias diferentes. Baseado no *roaming* intra- ou inter-sistema, gerências de *handoff* e de localização podem ser classificadas como gerência intra- ou inter-sistema de *handoff* e gerência intra- ou inter-sistema de localização [3].

Devido à heterogeneidade dos protocolos e das tecnologias envolvidas, a gerência inter-sistema de *handoff* é muito mais difícil de implementar em relação à gerência intra-sistema. Diversos trabalhos propostos pela comunidade científica defendem a implementação em diferentes camadas da pilha de protocolos TCP/IP. As possíveis alternativas são implementações na camada de aplicação, rede, enlace e em múltiplas camadas (*cross-layer*) [52, 3].

### 2.3.1 Handoff

Quando um dispositivo conectado a um ponto de acesso (AP) vai afastando-se da área de cobertura, o nível do sinal do dispositivo sofre degradação. Ao se aproximar de outro ponto de acesso, com um nível de sinal mais forte, é necessário um mecanismo na rede para manter o estado de conexão do dispositivo, transferindo a responsabilidade pela comunicação para o novo ponto de acesso. O mecanismo que faz a transferência de conexão de um dispositivo de um ponto de acesso para outro é chamado de *handoff*.

Adicionalmente, a decisão de executar um *handoff* pode ser feita por um agente situado no dispositivo do usuário, baseada em políticas bem definidas tais como largura de banda, custo, segurança, cobertura da rede, QoS ou até mesmo pelas preferências do usuário [45].

Existem três tipos de *Handoffs*. *Handoffs* que ocorrem entre pontos de acessos de mesma tecnologia são chamados de *handoffs* horizontais. *Handoffs* que ocorrem entre pontos de acessos pertencentes a redes diferentes (Ex. *WiFi* para 3G) são chamados de *handoffs* verticais. Assim um *handoff* vertical é usado entre células heterogêneas de redes de acesso que diferem em muitos aspectos, tais como largura de banda, frequência do sinal, etc. Essas características particulares de cada rede fazem a implementação de *handoffs* verticais muito mais difícil se comparada com a dos *handoffs* horizontais, porém já existem padrões para auxiliar em sua implementação, tal como o IEEE 802.21.

Com a intenção de aproveitar os recursos de rede de diferentes tecnologias ao mesmo tempo surge o *handoff* diagonal que, ao invés de mudar o enlace de uma conexão de rede, utiliza as duas interfaces para se comunicar. Isso faz com que haja uma vazão maior de dados, entretanto oferece uma dificuldade maior em sua implementação do que o *handoff* vertical.

Métricas de decisão de *handoff* são usadas como critério para determinar quando é necessário executar um *handoff*. Os *handoffs* tradicionais eram apenas baseados na qualidade do sinal do rádio e na disponibilidade de canais. Nas novas gerações de redes sem fio heterogêneas novas métricas de *handoff* são necessárias para permitir alta mobilidade do usuário e para minimizar o atraso de *handoff*. Em [46] são propostas algumas métricas de decisão de *handoff*:

- Tipo de serviço: Diferentes tipos de serviço requerem diferentes tipos de confiabilidade, atraso e taxa de transmissão.

- **Custo:** Custo é um fator importante para os usuários. Como diferentes redes podem ter diferentes estratégias de cobrança, a escolha da rede baseada no custo influencia na escolha do usuário na execução do *handoff*.
- **Condições da rede:** Os parâmetros relacionados com o estado da rede, como tráfego, disponibilidade de banda, atraso e congestionamento (perda de pacotes), precisam ser considerados para o uso eficaz da rede. O uso das informações relacionadas ao estado da rede para a escolha do *handoff* pode ser útil para o balanceamento de carga entre diferentes redes, possibilitando diminuir o congestionamento.
- **Desempenho do sistema:** Para garantir o desempenho do sistema, uma variedade de parâmetros pode ser empregada na decisão do *handoff*, como por exemplo características da propagação do canal, perda de caminho, interferência intercanal (*Signal-to-noise* - SNR) e erro de transmissão de bit. Além disso, a carga de bateria pode ser um fator importante para certos usuários. Quando o nível de bateria for mínimo, o usuário pode escolher fazer o *handoff* baseado no consumo de bateria da rede, por exemplo, para uma rede *bluetooth*.
- **Condições do dispositivo móvel:** As condições do veículo incluem fatores dinâmicos como velocidade, maneira de movimentação, localização e histórico de movimentação.
- **Preferências do usuário:** As preferências do usuário podem ser usadas para fornecer pedidos especiais para a rede.

### 2.3.2 Proxy Mobile IPv6

*Proxy Mobile IPv6* (PMIPv6), conforme especificado em [22], fornece um gerenciador de mobilidade baseado na rede para conectar hosts a um domínio PMIPv6. PMIPv6 introduz duas novas entidades funcionais: o *Local Mobility Anchor* (LMA) e o *Mobile Access Gateway* (MAG). MAG é a primeira camada que detecta um nó móvel (MN) associando-se a esse nó e oferecendo uma conectividade IP. O LMA é a entidade que irá atribuir um ou mais *Home Network Prefixes* (HNP) para o nó móvel.

A base fundamental do PMIPv6 está no MIPv6 no sentido em que ele estende o MIPv6 utilizando conceitos tais como a funcionalidade do *home agent* (HA). O LMA e o MAG estabelecem um túnel bidirecional para encaminhamento de todo o tráfego de dados pertencente aos nós móveis. A gerência de mobilidade suporta uma liberdade de mobilidade dentro do domínio do PMIPv6, ou seja, um host móvel pode circular livremente dentro do domínio PMIPv6 sem alterar o seu endereço IP [10].

A Figura 2.1 mostra uma simples topologia do protocolo PMIPv6. Essa topologia possui um nó móvel (MN), um MAG conectado com o ponto de acesso, e um LMA que está conectado ao nó correspondente (CN). O nó correspondente pode ser qualquer nó na internet.

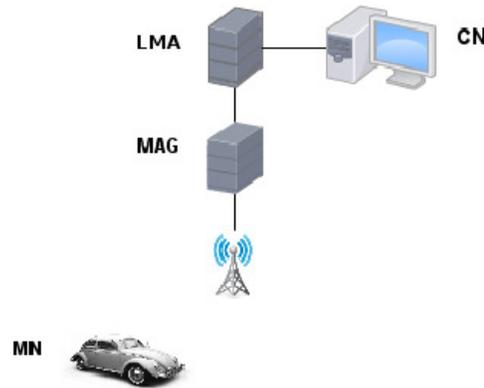


Figura 2.1: Topologia e componentes do PMIPv6.

Por padrão toda a decisão de mudança de um ponto de acesso a outro ocorre por decisão do LMA, que gerencia os endereços dos nós móveis conectados ao seu domínio. O MAG registra um novo usuário na rede para que o LMA possa ter ciência de que um determinado nó está conectado a algum MAG gerenciado por ele.

### 2.3.3 IEEE 802.21

O IEEE 802.21 [20] é um esforço recente de especificação do IEEE, que visa permitir a transferência e interoperabilidade entre tipos de redes heterogêneas, incluindo os padrões 802 e redes não 802. Uma das principais idéias do IEEE 802.21 é fornecer uma interface comum para a gestão de eventos e mensagens de controle trocadas entre dispositivos de redes que possuem tecnologias diferentes.

O objetivo do IEEE 802.21 é melhorar e facilitar o uso dos nós móveis, proporcionando transmissão ininterrupta em redes heterogêneas. Para este efeito, os procedimentos de entrega podem utilizar as informações recolhidas a partir do terminal móvel e/ou infraestrutura de rede. Ao mesmo tempo, diversos fatores podem determinar a decisão de entrega: serviço de continuidade, classe de aplicações, qualidade de serviço, negociação de qualidade de serviço, segurança, etc.

As tarefas mais importantes do IEEE 802.21 são a descoberta de novas redes no ambiente e seleção da rede mais apropriada para uma determinada necessidade [30]. A descoberta da rede e o processo de seleção são facilitados pelo intercâmbio de informações

da rede, que ajuda o dispositivo móvel a determinar quais são as redes ativas em sua vizinhança, permitindo que o terminal móvel conecte-se à rede mais apropriada com base em suas políticas de *handoff*. Entretanto a realização dessa nova conexão tem como grande limitação o tempo de desconexão da estação base antiga, ou seja, a execução do *make-before-break* é lenta [50].

O núcleo do 802.21 é a *Media Independent Handover Function* (MIHF). MIHF terá de ser implementada em todo dispositivo compatível com o IEEE 802.21 (tanto em *hardware* quanto em *software*). Esta função é responsável pela comunicação com diferentes terminais, redes e MIHFs remotos e também pelo oferecimento de serviços de informações para as camadas superiores. A Figura 2.2 ilustra a camada de serviços do IEEE 802.21 e sua localização na pilha de protocolo do TCP/IP.

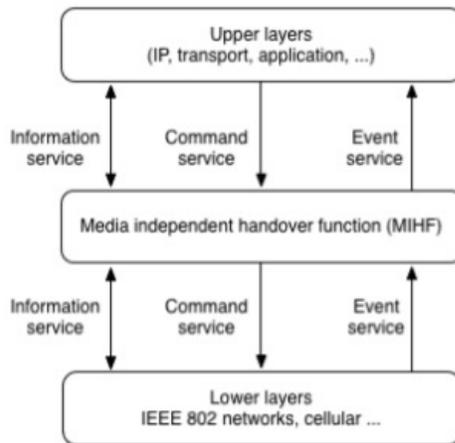


Figura 2.2: Serviços MIH (retirada de [17]).

O MIHF define três serviços diferentes: *Media Independent Event Service* (MIES), *Media Independent Command Service* (MICS) e *Media Independent Information Service* (MIIS) [26].

O MIES provê classificação de eventos, filtragem de eventos e relatório de eventos que correspondem às mudanças dinâmicas que ocorrem no enlace com relação à característica, estado e qualidade. A *MIH Function* deve se registrar na camada de enlace para receber os eventos de enlace, enquanto as camadas superiores interessadas em eventos MIH devem se registrar na *MIH Function* para receberem esses eventos. Os eventos podem ser gerados pela pilha local ou pela pilha remota do ponto de acesso (*Point of Access - PoA*) que está atuando como ponto de serviço (*Point of Service - PoS*). Os eventos de enlace e eventos MIH são divididos em seis categorias: administrativo, mudança de estado, parâmetro de enlace, pré-indicado (*predictive*), enlace sincronizado e transmissão de enlace.

O MICS permite que usuários MIH possam gerenciar e controlar características do enlace relevantes para o *handoff* e mobilidade. Os comandos MIH (*MIH Commands*) se originam nas camadas superiores em direção ao *MIH Function*. Nele, esses comandos tornam-se um comando remoto MIH (*Remote MIH Command*) para uma pilha remota ou/e seguem para as camadas inferiores como um comando de enlace (*Link Commands*) da *MIH Function*. Os comandos de enlace são específicos da rede de acesso em uso e são apenas locais.

O MIIS provê a capacidade de se obter as informações necessárias para os *handoffs*, como mapa da vizinhança, informações sobre a camada de enlace e disponibilidade de serviços. Resumidamente, esse serviço oferece uma via de mão-dupla para que todas as camadas possam compartilhar elementos de informação (*Information Elements – IE*) que auxiliem na tomada de decisão do *handoff*.

Esses elementos de informação são divididos em cinco grupos: informações gerais (ex: operadores da área), rede de acesso (ex: custo, segurança, QoS), informações sobre o ponto de acesso (ex: localização, taxa de dados, canais), serviços de camadas superiores (ex: informação sobre a subrede) e outras informações (ex: específicas do fornecedor).

## 2.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou alguns conceitos básicos importantes para o entendimento deste trabalho, tais como as redes veiculares, seus principais conceitos, suas características e principais tipos de aplicação. Abordou também os conceitos sobre tecnologias de celular, incluindo WiMax e LTE, e por final apresentou conceitos sobre Gerência de Mobilidade, abordando *handoff* e alguns protocolos, tais como PMIPv6 e o protocolo 802.21.

Do que foi apresentado, é necessário ressaltar as principais características de redes VANETs, as quais refletem também seus principais desafios: alta velocidade na mobilidade do nó e na transferência dos dados e rápida mudança da topologia. As características das redes VANETs constituem um grande desafio à gestão de aplicações para essas redes, em especial quando as aplicações precisam de uma conexão com uma infraestrutura de acostamento, pois além de lidar com as características da rede tem que cumprir algumas métricas de conexão e troca de ponto de acesso. Essas métricas incluem velocidade de movimentação do veículo, condições dos estados da rede e garantia de que o sistema pode manter seu desempenho mesmo com trocas sucessivas de ponto de acesso. A condição do veículo, condições da rede e desempenho do sistema são características importantes para tal.

Esta tese é motivada pela superação desses desafios embutidos pelas características das redes veiculares e pelas métricas envolvidas na realização da troca de ponto de acesso. Além disso, esta tese lida com *handoff* diagonal que gerencia a troca de ponto de acesso de

mesma tecnologia de rede e também com ponto de tecnologia diferente simultaneamente através do uso de mais de uma interface de rede, aumentando sua complexidade na realização do *handoff*, pois terá de gerenciar o ponto de acesso com as mesmas características, como frequência, cobertura, largura de banda, mais também terá que gerenciar ponto de acesso com características totalmente distintas.

Para auxiliar esse gerenciamento do ponto de acesso, o protocolo 802.21 tem um papel importante, pois além de ser um protocolo genérico capaz de atender qualquer tecnologia de rede atual, o protocolo permite a captura dos estados da rede através de suas funções e mensagens. Entretanto esse protocolo não realiza nenhum gerenciamento efetivo na mobilidade do veículo, ou seja, não lida com endereçamento e roteamento do fluxo das informações, conseqüentemente precisando do protocolo PMIPv6 para que ele possa gerenciar os endereços e prefixos de cada veículo. Esta tese fez a combinação dos protocolos, o 802.21 e o PMIPv6, pois enquanto o 802.21 realizava a abstração do estado da rede e de cada fluxo que passa pela rede, o PMIPv6 gerenciava a mobilidade desses fluxos em cada veículo. Permitindo o veículo estar sempre conectado durante o seu percurso de uma forma transparente.



# Capítulo 3

## Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta alguns trabalhos relacionados ao desenvolvimento da tese, sendo dividido em quatro seções. A primeira está relacionada ao impacto do uso do protocolo 802.21 para a verificação do estado da rede. A segunda mostra trabalhos relacionados a algoritmos de balanceamento de carga e algoritmos de escalonamento, focando no uso de mais de uma interface de rede para o envio e recebimento dos dados. A terceira descreve trabalhos relacionados à junção do protocolo 802.21 com a gerência de mobilidade das interfaces de rede ativas no ambiente, focando na arquitetura como um todo. Por final, a quarta seção foca em trabalhos relacionados a políticas de decisão no momento da troca de uma interface de uma rede para outra.

### 3.1 Relevância do Protocolo 802.21

Esta seção apresenta algumas propostas de mecanismos e arquiteturas que, de alguma forma, realizam *handoff* vertical, para integrar as redes sem fio de forma transparente para o usuário móvel, veicular ou não.

Márquez-Barja e colaboradores [34] propuseram um novo algoritmo de decisão de *handoff* vertical chamado de MACHU (*Multi-Access network Handoff Algorithm for vehicular environments*), que combina Geolocalização baseada em GPS, informações do mapa corrente e informações de contexto da rede com a funcionalidade do padrão IEEE 802.21. Para o processo de tomada de decisão, MACHU aproveita tanto a geolocalização atual e futura do veículo (dentro da rota e do mapa utilizado), juntamente com as informações da rede fornecidas pelos serviços diferentes do padrão IEEE 802.21. O objetivo consiste em escolher a rede de acesso mais adequada ao longo do percurso.

Chiu e colaboradores [13] apresentaram um projeto *cross-layer* para acelerar as mudanças entre as estações base, chamado *Vehicular Fast Handover Scheme* (VFHS), onde as informações da camada física são compartilhadas com a camada MAC para reduzir o

Tabela 3.1: Trabalhos Relacionados.

Autores	Técnica utilizada para captura	Técnica utilizada para simulação
Márquez-Barja e colaboradores [34]	protocolo 802.21	UMTS; <i>WiFi</i> ; WIMAX
Chiu e colaboradores [13]	cross-layer	WIMAX
Lee e colaboradores. [31]	protocolo próprio	PMIPv6
Trabalho desta tese (SFMMA)	extensão do protocolo 802.21	<i>WiFi</i> , 802.11p, LTE, WIMAX

atraso. A ideia principal do VFHS é utilizar os veículos que se aproximam do lado oposto para acumular informações da camada física e MAC. Veículos parados podem realizar uma entrega rápida quando entrarem na faixa de transmissão de um veículo de retransmissão que se aproxima.

Lee e colaboradores [31] propuseram uma melhoria no processo de *handoff multicast* que otimiza o gerenciamento do grupo *multicast* através do contexto do nó móvel que está utilizando a rede por meio da execução de uma aplicação *multicast*. Eles desenvolveram um modelo analítico para avaliar a proposta do processo de *handoff*. Os autores demonstraram que a proposta de *handoff* para grupos *multicast* minimizou o tempo de interrupção do serviço e impede a perda de pacotes multicast durante *handoffs*.

A Tabela 3.1 resume as seguintes características dos trabalhos relacionados comparadas ao nosso trabalho (SFMMA): (i) técnica utilizada para capturar o estado da rede, (ii) técnica utilizada para simulação.

Na arquitetura proposta, usamos mecanismos para tirar benefício dos recursos de monitoramento de rede com o protocolo 802.21. Esses mecanismos capturam informações da rede para tomar a melhor decisão em realizar um *handoff*, sempre levando em consideração os requisitos mínimos de rede. Isto é feito através da extensão do protocolo 802.21, acrescentando mais informações para o seu serviço de informação, a fim de saber que tipo de aplicativo o usuário está executando.

## 3.2 Divisão de Fluxo

Esta seção apresenta alguns trabalhos relacionados ao balanceamento de carga e a algoritmos de escalonamento.

Al-Zubaidy e colaboradores [5] implementam políticas de escalonamento de pacote em um sistema *multi-server* de filas paralelas, com *queue-server* aleatório. Estas políticas são caracterizadas por minimizarem a diferença total de comprimentos de fila em cada

Tabela 3.2: Trabalhos Relacionados com a Divisão de Fluxo.

Autores	Tecnologia de rede	Número de Interfaces Ativas	Estratégia de Balanceamento/ Congestionamento
Al-Zubaidy e colaboradores [5]	<i>WiFi</i>	1	Filas simétricas
Martin Karsten [25]	Par de nós cabeados	1	Filas FIFO
Zhang e colaboradores. [58]	VANETs	1	Framework
Trabalho desta tese (SFMMA)	VANETs	2	Filas de Prioridades

intervalo de tempo. O modelo usa filas simétricas e vários servidores com conectividades aleatórias de servidores.

Martin Karsten [25] implementou o *Virtually Isolated FIFO Queueing* (VIFQ), que emula a vazão de uma fila FIFO, mas também suporta diferentes classes de atrasos nos roteadores. VIFQ adota uma política livre, onde todo o tráfego que chega é tratado com a mesma importância, deixando assim as decisões de alocação de taxa para outros componentes da rede. VIFQ constrói várias filas FIFO virtuais que estão configuradas com um atraso de fila máximo.

Zhang et. al. [58] apresentaram um *framework* para controle de congestionamento. Os autores propuseram o uso do tempo que o canal fica ocupado como métrica para o balanceamento da rede. Os autores também destacaram trabalhos futuros, que incluem a definição de parâmetros de desempenho de rede para lidar não só com as condições da rede mas também com as limitações do *hardware* para a escolha dos mecanismos mais apropriados de controle de congestionamento.

A Tabela 3.2 resume as seguintes características dos trabalhos relacionados e do nosso trabalho (i) tecnologia de rede utilizada para a avaliação dos trabalhos, (ii) número de interfaces ativas para transmissão das mensagens, (iii) mecanismos utilizados para a realização do balanceamento de carga.

Nosso trabalho é baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e não no tempo em que o pacote deve ser enviado. Em outras palavras, ao invés de classificar o pacote pelo seu *timestamp* para saber qual pacote será enviado na rede, nós associamos cada classe de aplicação a uma tecnologia de rede.

### 3.3 Gerência de Divisão de Fluxo

Esta seção apresenta algumas propostas relacionadas aos mecanismos que, de alguma forma, melhoram o desempenho do *handoff*, permitindo a utilização simultânea de múltiplas interfaces durante a mobilidade de fluxo.

Choi e colaboradores [14] propõem um suporte a mobilidade de fluxo para atualização e completa cobertura do suporte a mobilidade no fluxo do protocolo PMIPv6. Essa proposta baseia-se numa interface virtual. A interface virtual faz com que todas as interfaces físicas fiquem ocultas para a camada de rede e camadas acima. O gerenciamento de interface de fluxo é colocado na interface virtual com o intuito de gerenciar os *flow bindings* e também é usado para selecionar a tecnologia de acesso adequada para enviar pacotes. O processo de troca de fluxo pode ser inicializado em 3 casos: (i) causadas por uma nova ligação a partir do MN; (ii) por decisão da LMA (*Local Mobility Anchor*); (iii) um pedido do MN.

Melia e colaboradores [36] focam na concepção e implementação de extensões de mobilidade de fluxo para PMIPv6. Para fazer isso, os autores estenderam o protocolo PMIPv6 para apoiar a gestão do fluxo de mobilidade IP dinâmico através de redes de acesso sem fio de acordo com as políticas da operadora. Esse trabalho considera o consumo de energia como um aspecto crítico para dispositivos portáteis e telefones inteligentes. Nessa proposta a rede se baseou em um mecanismo de âncora, tendo uma entidade reponsável por realizar a decisão de mudança de uma interface para a outra para os usuários. Como resultado dessa proposta os autores mostraram o custo (em termos de consumo de energia) de transmissão/recepção de pacotes com múltiplas interfaces de rede.

Kim e colaboradores [28] propuseram um mecanismo de *handoff* para fluxo contínuo sobre IP otimizado para tráfego de pacotes, baseado em gerência de mobilidade *network-based*. O mecanismo proposto utiliza o protocolo *fast handoffs for PMIPv6* (FPMIPv6). Por esse protocolo não suportar gerenciamento de fluxo os autores definiram novos cabeçalhos de mobilidade, como o *handoff initiation for flow mobility* (HIF), que envia informações de uma MAG (*Mobile Access Gateway*) para a outra sobre o nó móvel. Outra mensagem que foi incorporada pelos autores foi a *handover acknowledge for flow mobility* (HAF), que é uma extensão da mensagem *handover acknowledge* (HACK) responsável por enviar comandos para a MAG. A mensagem HACK é definida pelo protocolo FPMIPv6. Esses cabeçalhos são uma extensão do *handover initiate* (HI) responsável pelo gerenciamento de mobilidade do protocolo FMIPv6. Essa extensão foi realizada com o intuito de obter maior eficiência no suporte a mobilidade de fluxo no FPMIPv6. Além disso, uma nova opção de mobilidade é definida para a transmissão de informações da ação interface, opção chamada de *interface-status-and-action* (ISA) que indica o estado do nó móvel bem como a ação desejada da interface de rede do nó móvel.

Makaya e colaboradores [33] propuseram um novo mecanismo para *selective IP traffic*

Tabela 3.3: Trabalhos Relacionados com a Gerência de Divisão de Fluxo.

Trabalho	Protocolo	Auxiliar	Decisão	Tecnologia	Estado
Choi [14]	PMIPv6	HUR, HAR, mensagem Flow mobility	LMA, MN	Wlan, WiMAX, PPP(3G)	Não
Melia [36]	PMIPv6	-	LMA	WiFi, 3G	Não
Kim [28]	FPMIPv6	HIF, HAF, mensagem ISA	MN	WiFi, 3G	Não
Makaya [33]	MSM	MIHF	MN	WiFi, 3G	Sim
Este trabalho de tese (SFMMA)	PMIPv6	MIHF	MN, MAG, LMA	LTE, 802.11p	Sim

*offload* (SIPTO) para redes de comunicação veiculares. Este mecanismo fornece suporte para *offload* de dados, transferência sem descontinuidades e mobilidade de fluxo IP para dispositivos móveis equipados com múltiplas interfaces. Os autores criaram um mecanismo chamado *multilink striping management* (MSM), que permite o descarregamento de dados e fluxo de mobilidade entre diferentes tecnologias de rede de acesso. Os relatórios sobre a qualidade do enlace e do estado da rede (ou seja, o núcleo da rede e o acesso) são usados como gatilhos para o MSM decidir se haverá uma mudança no fluxo, ou um *offload* de dados ou um *handoff*, necessário para evitar interrupções da sessão. Os serviços MIH são usados para acionar a necessidade de uma troca de fluxo, *offload* de dados, ou de *handoff*. Usando as primitivas MIH, a mobilidade do fluxo IP, o *handoff*, e o *offload* de dados são feitos sem problemas e permitem uma melhor utilização dos recursos da rede, reforçando simultaneamente a capacidade da rede.

A Tabela 3.3 resume as seguintes características dos trabalhos relacionados com o nosso trabalho (SFMMA): (i) a tecnologia utilizada para a gestão da mobilidade (protocolo), (ii) o uso de outro protocolo ou mensagens auxiliares (auxiliar), (iii) o dispositivo usado para inicializar ou para tomar decisões sobre mudanças de fluxo (decisão), (iv) a tecnologia de rede em que foi testado (tecnologia), e (v) se leva em conta o estado da rede e os seus fluxos (estado).

Nossa arquitetura é baseada em classes de aplicação de redes veiculares com a gerência de mobilidade baseada na rede. Não apenas o *Local Mobility Anchor* (LMA) e o *Mobile Node* (MN) podem iniciar a mudança de fluxo, como um *Mobile Access Gateway* (MAG) também tem a capacidade para iniciar a mudança de fluxo, fazendo com que as alterações de fluxo fiquem mais dinâmicas. Por outro lado a nossa arquitetura leva em conta não apenas a situação da rede, mas também o estado de cada fluxo, fornecendo informações

relevantes sobre o fluxo para fazer a melhor decisão no momento da troca de fluxo.

### 3.4 Mecanismo de Decisão de *Handoff*

Esta seção apresenta alguns trabalhos relacionados às políticas de decisão no momento da troca de uma interface de rede para outra. Alguns desses trabalhos utilizam a teoria de jogos como mecanismo de decisão e outros utilizam a lógica *fuzzy*.

Patil e Kolte [49] desenvolveram um mecanismo de otimização de algoritmo de *handoff* utilizando a lógica *fuzzy*. O algoritmo é utilizado para *handoff* vertical e utiliza 3 métricas: *Signal to Interference Ratio* (SIR), a velocidade do dispositivo móvel e o tipo de tráfego da rede. Esses parâmetros são utilizados para a tomada de decisão em realizar um *handoff* ou não. Essa decisão é feita pelo sistema lógico *fuzzy* que utiliza 7 tipos de saída: *Highest*, *Higher*, *High*, *Normal*, *Low*, *Lower*, ou *Lowest*.

Dhar e colaboradores [54] implementam um mecanismo de *handoff* vertical inteligente baseado no *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e de processos de decisão *fuzzy* para *Intelligent Transportation System* (ITS). O mecanismo utiliza o custo, a velocidade do veículo e a carga de tráfego da rede. Além disso, utiliza 2 tipos de saída na tomada de decisão do *handoff*: *low* e *high*. Esse trabalho utiliza números *fuzzy* triangulares.

Dhar e colaboradores [16] propuseram um mecanismo de *Handoff*, o *Cognitive Vertical Handover* (CVHO), para assegurar a conectividade. Para isso o mecanismo utiliza uma rede neural artificial e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para a escolha da melhor rede no momento do *handoff*. Para a realização da escolha da rede a política utiliza múltiplos critérios, tais como, velocidade, largura de banda, tráfego da rede, atraso e custo.

Bin Ma e colaboradores [32] propuseram um algoritmo de *handoff* vertical, utilizando lógica *fuzzy* tipo 2 (uma evolução do *fuzzy* tipo 1 onde para se obter o valor de pertinência cria-se uma mancha de incerteza, o *Footprint of uncertainty*) e levando em consideração a velocidade adaptativa do veículo na fase da descoberta de redes ativas no ambiente. Esse algoritmo adaptativo atualiza o conjunto de redes candidatas e ajusta o tempo de *handoff* de acordo com a velocidade do usuário. A melhor rede que faz parte desse conjunto é selecionada pela lógica *Fuzzy* tipo 2.

A Tabela 3.4 resume as seguintes características dos trabalhos relacionados com o nosso trabalho, considerando o fluxo de mobilidade e a gestão de arquitetura proposta: (i) os parâmetros de entrada, (ii) os parâmetros de saída, (iii) método utilizada para o desenvolvimento da política.

Nossa política utiliza lógica *fuzzy* para indicar a necessidade de troca de um fluxo de uma interface para outra e qual será a melhor interface. Para isso, utilizamos três variáveis lógicas: perda de pacote, vazão da rede e atraso das mensagens. Além disso, utilizamos cinco tipos de saída: muito alta, alta, normal, baixa e muito baixa, para evitar

Tabela 3.4: Trabalhos Relacionados com Mecanismo de Decisão de *Handoff*.

Trabalho	Parâmetros de Entrada	Parâmetros de Saída	Método Utilizado
Patil e Kolte [49]	Interferência de sinal (SIR); tipo de tráfego (TR) e Velocidade (VEL)	7	Sistema fuzzy com vetor de pesos
Dhar e colaboradores [54]	Velocidade do nó, custo monetário e quantidade de tráfego	2	Sistema fuzzy com <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)
Dhar e colaboradores [16]	velocidade, largura de banda, tráfego da rede, atraso e custo	2	Redes neurais com <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)
Bin Ma e colaboradores [32]	<i>Received Signal Strength</i> (RSS) e Velocidade do veículo	3	Lógica fuzzy tipo 2
Este trabalho de tese (SFMMA)	Vazão; Perda e Atraso	5	Sistema fuzzy com <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)

que a troca de uma interface de rede para outra seja precipitada, com isso diminuindo a quantidade de trocas executadas.

### 3.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou alguns trabalhos relacionados ao desenvolvimento da tese. É necessário ressaltar a relevância do uso do protocolo 802.21 que é uma padronização estabelecida pelo IEEE para o auxílio do gerenciamento de mobilidade em redes heterogênicas. Diferentemente de protocolos proprietários ou protocolos *cross-layer*, esse protocolo utilizado para qualquer tecnologia de rede não ficando restrito a uma única tecnologia. Esse protocolo foi utilizado nesta tese com o objetivo de capturar informações da rede para tomar a melhor decisão em realizar um *handoff*, sempre levando em consideração os requisitos mínimos de rede. Isto é feito através da extensão do protocolo 802.21, acrescentando mais informações para o seu serviço de informação.

Outro ponto dessa tese corresponde aos algoritmos para o escalonamento de envio de pacotes que em sua essência utilizam filas em muitos trabalhos para realizar o envio de

suas mensagens. Essas filas normamente utilizam algum *timestamp* para indicar qual será o pacote que ficará a frente da fila ou simplesmente utilizam uma modificação da fila FIFO classificando os pacotes pelo seu atraso na fila. Esses *timestamps* não priorizam nenhum tipo de aplicação da rede, podendo ocorrer que uma mensagem de uma aplicação relevante para o usuário demore para ser enviada e esse atraso pode acarretar um evento grave, como por exemplo uma colisão entre dois veículos se essa aplicação for de segurança. Esse trabalho de tese se difere dos demais trabalhos, pois foca em atender os requisitos e prioridades de cada classe de aplicação das redes veiculares. Especificamente, ao invés de classificar o pacote pelo seu *timestamp* para saber qual pacote será enviado na rede, nós associamos cada classe de aplicação a uma tecnologia de rede, onde foi utilizado mais de uma interface de rede simultaneamente para esse mapeamento.

Esta tese verificou os protocolos de gerenciamento de mobilidade de fluxo e constatou que alguns trabalhos utilizaram extensões do protocolo PMIPv6 pela sua facilidade de lidar com prefixos e endereçamento de nós móveis. Diferentemente do MSM apresentado, o PMIPv6 é uma extensão do protocolo MIPv6, assim, o PMIPv6 possui funções padronizadas e bem conhecidas, facilitando assim uma futura interoperabilidade entre diversos protocolos de gerência de mobilidade de fluxo. Como essa tese necessita de atender os requisitos da aplicação da rede veicular a inicialização de troca de um fluxo para uma determinada interface não fica somente no núcleo ou no nó móvel, mas em ambas, no núcleo (LMA e MAG) e no nó móvel, fazendo com que as alterações de fluxo fiquem mais dinâmicas. Por fim, verificou-se também alguns trabalhos relacionados à política de decisão de *handoff*, mostrando que a lógica fuzzy é um método relevante para a elaboração das políticas de decisão de *handoff*, permitindo a interação com outros métodos matemáticos para dar maior precisão em suas análises.

# Capítulo 4

## Uma Arquitetura de Gerência de Mobilidade para Redes Veiculares

Esta tese propõe o desenvolvimento de uma arquitetura, chamada de Seamless Flow Mobility Management Architecture (SFMMA), que consiste de uma infraestrutura comum para tecnologia multi-acesso de forma transparente em redes sem fio, trabalhando com tecnologias como WiMax e LTE, além de tecnologias sem fio para redes veiculares, provendo uma conexão contínua e transparente para as aplicações veiculares.

O objetivo desta arquitetura é maximizar a vazão da rede, mantendo os requisitos mínimos das aplicações veiculares, tais como perda de pacote, vazão e atraso. Para isso, criamos um gerenciador de fluxo baseado nas classes de aplicação das redes veiculares e no estado de cada rede ativa no ambiente.

A arquitetura proposta difere de outras arquiteturas para redes veiculares, pois esta arquitetura considera as necessidades de cada classe de aplicação, tais como a vazão, a latência e a perda de pacote. Além disso, esta arquitetura usa o estado da rede nas interfaces de rede ativas para executar a divisão do fluxo. Outra diferença está no momento da troca de fluxo não ficando somente a cargo do LMA, mas cabe também ao MAG e ao MN a tarefa de tomar uma ação de mudança de fluxo.

### 4.1 Visão Geral da Arquitetura

A SFMMA está dividida em três módulos: um módulo que está no MAG, um no LMA e outro módulo que está embarcado no veículo como podemos observar na Figura 4.1.

No módulo embarcado no MAG e no LMA, a camada de rede contém o protocolo PMIPv6 para lidar com o endereçamento e com os prefixos dos pontos de acesso requeridos para o roteamento das mensagens. Esses módulos também possuem o componente MIHF, com funções estendidas do protocolo 802.21. Essa extensão permite ao LMA ter uma visão

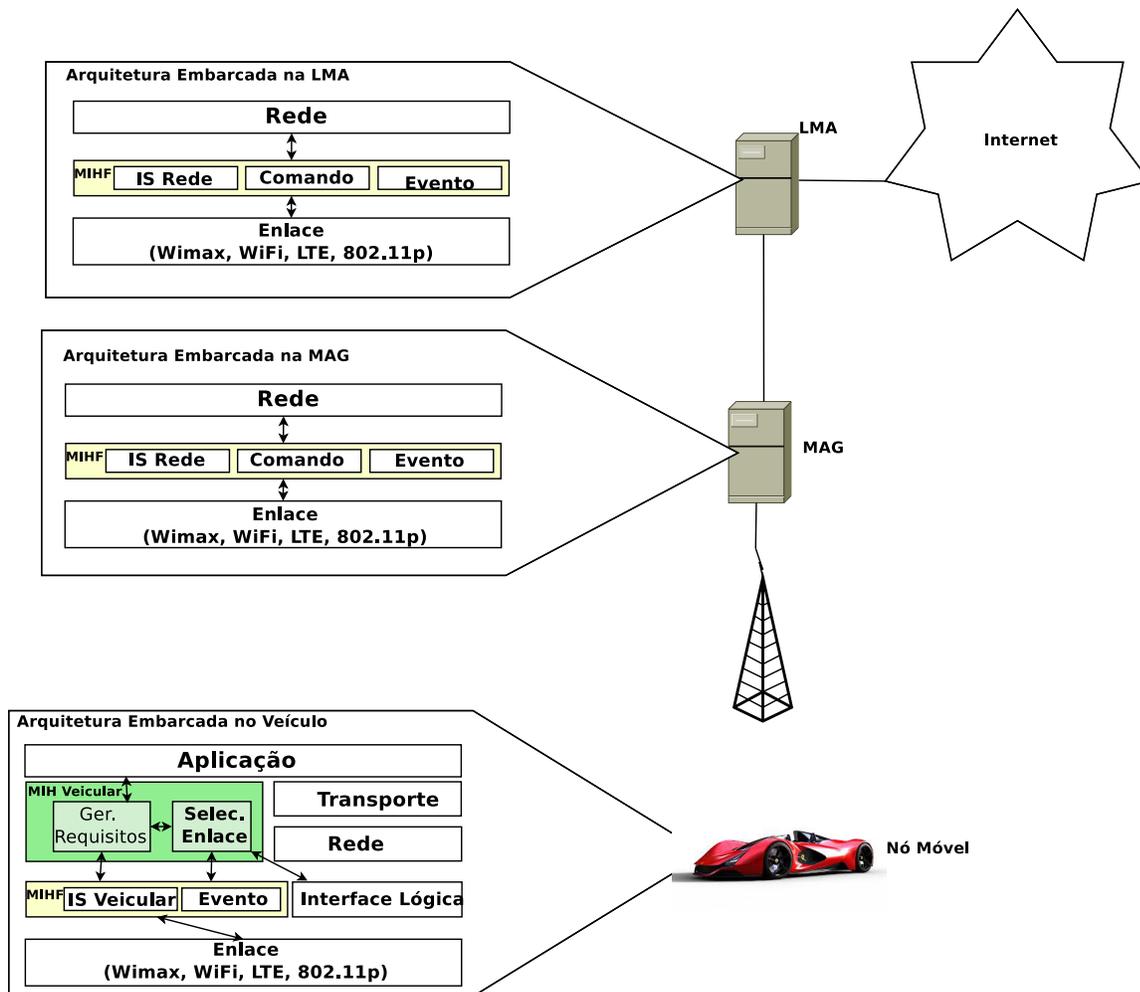


Figura 4.1: Componentes do SFMMA.

global do estado da rede que está conectada a ele, bem como toda a informação necessária para realizar uma mudança no fluxo. Além disso, essa extensão nos permitiu criar no LMA mecanismos para realizar um isolamento nos fluxos de informação de cada MAG que está no domínio do LMA, obtendo assim uma maior flexibilidade no momento da tomada de decisão de mudança de fluxo. No MAG a extensão do protocolo 802.21 permite que o MAG monitore não só seus próprios enlaces, mas também os fluxos que passam por ele, dando ao MAG uma visão do estado de sua rede local. Além disso, o MAG pode verificar o estado de seus fluxos e enlaces para determinar se as condições de rede são capazes de atender as necessidades das aplicações que passam por ela. Se o MAG observar que os requisitos da aplicação não estão sendo cumpridos, o MAG pode comunicar ao LMA para uma possível troca de fluxo. As arquiteturas tanto do MAG quanto do LMA podem gerenciar tanto as redes de acesso veiculares como o 802.11p, bem como, as tecnologias *WiFi* e as principais tecnologias de celular como o WiMax e o LTE.

O primeiro nível da arquitetura embarcada no veículo engloba as aplicações veiculares. Para a camada abaixo, desenvolvemos um componente de gestão de mobilidade chamado MIH Veicular, que compreende um componente de gerenciamento de requisitos que recebe os requisitos mínimos de rede para que a aplicação possa ser executada. O MIH Veicular também tem um componente de seleção de enlace, o qual recebe a informação do estado da rede e decide se vai efetuar uma transferência e, em caso afirmativo, a qual rede deve se conectar. Além disso, o componente de seleção de enlace ajuda a interface lógica a decidir qual será o enlace usado para enviar uma mensagem específica. Tanto o componente de gerenciamento de requisitos quanto o componente de seleção de enlace enviam comandos para o componente MIHF. O componente MIHF é uma extensão das funções do protocolo 802.21. Essa extensão permite obter informações dos estados das interfaces de rede, ou seja, o MAG em que a interface de rede está conectada, e como essas interfaces estão conectadas. Essa informação é necessária para o nó saber se a interface está ativa ou não, e para quem ele precisa encaminhar as mensagens. Na camada de rede é utilizado o protocolo PMIPv6, fornecendo o endereçamento ao veículo. O veículo possui múltiplas interfaces de rede, com isso terá de lidar com várias tecnologias de rede como o LTE ou WiMax das redes celulares e também com alguns protocolos da família 802.11.

A extensão do protocolo 802.21 permite a criação de um gerenciamento de fluxo com base nos requisitos e características de cada aplicação de redes veiculares, tais como o atraso e taxa de transferência, além de informar ao nó quais são as interfaces ativas em um determinado momento.

## 4.2 Divisão do Fluxo de Informação

Inicialmente as redes veiculares focavam na segurança do condutor e das vias públicas através de aplicações que trocavam informações de posição dos veículos, das possíveis ações do condutor, informações sobre eventos que estão ocorrendo na via, entre outras informações. Atualmente, há várias aplicações voltadas não somente para a segurança do condutor, mas também para a eficiência das vias públicas, bem como para o conforto dos passageiros através de aplicativos de mensagens instantâneas e aplicativos de compartilhamento de conteúdo como músicas e vídeos.

Para gerenciar o tráfego dessas aplicações, agrupamos as aplicações das redes veiculares em três classes de acordo com seus objetivos gerais: *segurança*, *conforto* e *usuário*. A classe de segurança compreende aplicações destinadas a ajudar motoristas a lidar com eventos imprevisíveis ou perigos das vias públicas pelo monitoramento do tráfego próximo ao veículo através de mensagens [53]. A classe de conforto inclui aplicações que se concentram no conforto e na eficiência do fluxo de carros nas ruas e estradas. Em outras palavras, esses aplicativos aumentam o grau de conveniência de motoristas e eficiência do tráfego através da troca de informação de tráfego entre as infraestruturas de acostamento e veículos [53]. A classe de usuário é composta por aplicações que estão focadas na interação com os ocupantes do veículo com informações, anúncios, entretenimento e vários tipos de serviço de comunicação.

Posteriormente, utilizamos essa classificação das aplicações da rede veicular para criar nossos fluxos de informação, que são: o primeiro fluxo para a classe de segurança, o segundo fluxo para classe de conforto e o terceiro fluxo para a classe de usuários. O fluxo de uma classe de aplicação é a agregação do tráfego das mensagens das aplicações de uma mesma classe. Para diferenciar estes fluxos utilizamos uma 2-tupla, que consiste no protocolo usado para transmitir e a porta de destino. Devido à variedade de aplicações possíveis em cada classe de aplicação, podemos dividir as aplicações entre faixas de portas de destino, ou seja uma faixa para a classe de segurança, uma segunda faixa para a classe conforto, e uma terceira faixa para a classe de usuário. Além da descrição do fluxo, outros parâmetros são necessários para realizar a divisão de fluxo, tais como um identificador de fluxo, a prioridade do fluxo, e a qual interface está ligado. Um exemplo destes parâmetros é apresentado na Tabela 4.1.

O exemplo mostrado na Tabela 4.1 representa o que está armazenado no serviço de informação dos veículos. O `ID_Flow` é o identificador do fluxo, a prioridade é a prioridade que um fluxo tem sobre os demais, a descrição de fluxo identifica qual é a classe do fluxo e `ID_Interface` é a identificação da interface. O LMA e o MAG, ao invés de um ID de interface, possuem um identificador da conexão entre o MAG e o LMA. A fim de utilizar esta estrutura de controle de fluxo, foi necessário estender o protocolo 802.21.

Tabela 4.1: Exemplo dos Parâmetros do Fluxo.

ID-Flow	Prioridade	Descrição do fluxo	ID-Interface
1	1	(UDP ou TCP , 5001 - 5100)	1, 2
2	2	(UDP ou TCP , 5101 - 5200)	2
3	2	(UDP ou TCP, 5201 - 5300)	2

## 4.3 Extensão do Protocolo 802.21

Os serviços definidos pelo protocolo 802.21 (MIES, MICS e MIIS) permitem obtenção e armazenamento de informações relevantes sobre o estado da rede, tais como a perda, vazão, e a informação de quais são as sub-redes. Estendemos o MIIS para que o nó pudesse obter informações de seus fluxos e também permitisse um melhor gerenciamento no momento da troca de algum fluxo, baseando-se nos estados das redes ativas no ambiente, bem como nas interfaces ativas.

Esta extensão do protocolo foi utilizada em todos os nós que participam da rede: os nós móveis, os MAGs, e os LMAs. Cada tipo de nó possui uma extensão específica do protocolo 802.21, ou seja, uma extensão para o nó móvel, outra para o MAG, e uma terceira para o LMA, descritas a seguir.

### 4.3.1 Extensão do Protocolo 802.21 no Veículo

Além das características padrão do MIHF, o veículo possui uma extensão do protocolo 802.21. Essa extensão permite obter informações dos estados das interfaces de rede, ou seja, o MAG em que a interface de rede está ligado, e quais são os *home network prefixes* (HNP). Essa informação é necessária para o nó saber se a interface está ativa ou não, para quem ele precisa encaminhar as mensagens, e quais são os prefixos que a interface pode usar para enviar suas mensagens. Para essa extensão, criamos três elementos de informações (IE) diferentes do protocolo original, como visto na Seção 4.2: (i) *IE-interface*, que gerencia as informações das interfaces, (ii) *IE-Flow*, que armazena informações de controle de fluxo das aplicações; e (iii) *IE-Container-FlowStatus*, que armazena o estado de cada fluxo.

A Figura 4.2(a) descreve o IE-interface, contendo um ID para a interface, que é o *IE\_OPERATOR\_ID* do protocolo padrão 802.21. Esse parâmetro identifica a interface de rede, qual é a tecnologia que está sendo utilizada, o custo de usar essa tecnologia, entre outras informações. Essa identificação e as informações da interface estão contidas em *IE\_CONTAINER\_network*. O campo MAG contém o identificador das informações do *Access Point* que a interface está conectada naquele momento. Essa informação está

IE - INTERFACE			
ID - Interface	HNP	MAG	Status
1	HNP1; HNP2; HNP3	POA1	ACTIVE
2	HNP2; HNP3	POA2	ACTIVE

(a) IE-interface

IE - FLOW			
ID - FLOWSTATUS	Priority	Flow Description	ID- Interface
1	1	(UDP or TCP, 5001-5100)	1, 2
2	2	(UDP or TCP, 5101-5200)	2, 1
3	2	(UDP or TCP, 5201-5300)	2, 1

(b) IE-Flow

IE - FLOWSTATUS - ID 1	
IE - FLOWSTATUS - ID 2	
IE - FLOWSTATUS - ID 3	
PARAMETERS	VALUE
THROUGHPUT	
PACKET LOSS	
DELAY	
:	
:	

(c) IE-Container-FlowStatus

Figura 4.2: Elementos de informação utilizados na arquitetura SFMMA. (a) elemento de informação voltado para a interface de rede. (b) elemento de informação focado nos tipos de fluxos que passam pelo veículo. (c) elemento de informação com valores de cada fluxo de mensagem.

contida no *IE\_CONTAINER\_POA*, que contém as informações de cada POA possível que a interface pode conectar. HNP contém uma lista de prefixos para que o MAG (POA) possa encaminhar os dados, e o *interface status* indica se a interface está ativa ou inativa. A Figura 4.2(b) descreve o IE-Flow, que contém informações sobre o controle de fluxo descrito acima. O IE-FlowStatus (Figura 4.2(c)) contém parâmetros como vazão, atraso e perda de pacotes, com seus respectivos valores para cada fluxo.

A informação do estado de cada fluxo é replicada para o seletor de enlace, com isso, dando uma maior flexibilidade na decisão de mudar um fluxo de uma interface para outra, bem como agilizar a escolha da interface no momento de enviar uma mensagem.

### 4.3.2 Extensão do Protocolo 802.21 no MAG

Como o nó móvel, o MAG também tem as características do protocolo padrão 802.21 e o IE-flow e IE-FlowStatus. No entanto, o IE-Flow do MAG não possui o ID da interface. Ao invés disso, o MAG possui um identificador para o *Binding Cache Entry* entre o MAG e o LMA, tal como visto na Figura 4.3, que mostra um exemplo das informações armazenadas no PMIPv6 do MAG.

O uso do IE-FlowStatus fornece ao MAG o poder de iniciar uma possível troca de fluxo, pois o nó conhece o estado de cada fluxo. Portanto, se algum parâmetro do IE-FlowStatus excede um limite superior, o nó pode iniciar a mudança do fluxo para um outro MAG. Por outro lado, se esses valores são inferiores ao limiar inferior, o nó pode solicitar uma mudança no fluxo para que novas mensagens sejam encaminhadas por ele. Com isso, se algum parâmetro do IE-FlowStatus é maior ou menor do que o limiar, o nó pode requerer alterações a serem aplicadas a um determinado fluxo.

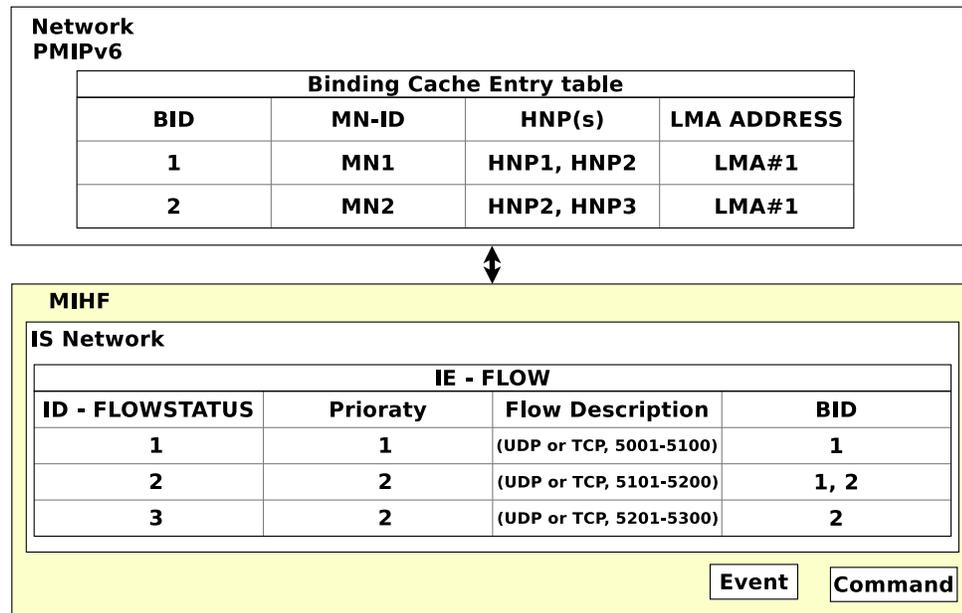


Figura 4.3: Arquitetura MAG.

### 4.3.3 Extensão do Protocolo 802.21 no LMA

O LMA também tem a funcionalidade padrão do MIHF, mas, como o MAG, o LMA também possui o controle de fluxo e as informações do estado de fluxo. Com isso, isolamos os fluxos de informações de cada MAG que está no domínio do LMA, assim obtendo uma maior flexibilidade no momento da tomada de decisão de mudança de fluxo. Criamos um novo elemento, *IE-CONTAINER-MAG*, que é uma extensão do *IE\_CONTAINER\_POA*, ou seja, o *IE-CONTAINER-MAG* contém todas as informações sobre o *IE\_CONTAINER\_POA*. Além disso, fornece informações para o estado dos fluxos de cada POA, como podemos ver na Figura 4.4. *IE-CONTAINER-MAG* contém apenas informações dos MAGs (POA), que são gerenciados pelo LMA.

Com isso, o LMA tem uma visão geral dos estados dos fluxos de toda a rede, e é capaz de decidir se modificará o encaminhamento de um fluxo de uma tecnologia para outra, ou mesmo alterar o direcionamento de um fluxo em qualquer momento.

## 4.4 Procedimento de Handoff

A criação de um fluxo ocorre quando um nó móvel inicia uma aplicação e começa a enviar mensagens para a rede. No entanto, a maneira como o fluxo passa através da rede pode ser alterada ao longo do tempo, ou seja, ao longo da sua existência, um fluxo que foi

<b>IE_POA_LINK_ADDR</b>
<b>IE_POA_LOCATION</b>
<b>IE_POA_CHANNEL_RANGE</b>
<b>IE_POA_SYSTEM_INFO</b>
<b>IE_POA_SUBNET_INFO</b>
<b>IE-Container-FlowStatus</b>
<b>IE_POA_IP_ADDR</b>

Figura 4.4: Definição do IE-CONTAINER-MAG.

originalmente definido para ser enviado através de uma tecnologia de rede em particular, pode ser encaminhado por outra tecnologia. Essa alteração no fluxo pode ser inicializada em três locais diferentes: no nó móvel, no LMA, ou no MAG, como descrito a seguir.

#### 4.4.1 Procedimento de *Handoff* no Veículo

A troca do fluxo pode ser inicializada pelo veículo. Essa inicialização pode ocorrer por duas razões: (i) quando da ativação de uma interface de rede, ou (ii) quando os parâmetros de rede ou o estado do fluxo atual não satisfazem os requisitos mínimos da aplicação (vazão, perda de pacotes e atraso).

Quando uma nova interface de rede é ativada, há dois eventos a considerar: (1) se todas as aplicações são mapeadas para outra interface de rede, e (2) se houver um fluxo previamente mapeado para essa interface, e este fluxo foi estabelecido na LMA, a LMA atribui o mesmo prefixo de rede com o fluxo de destino. Caso contrário, a LMA atribui um novo prefixo de rede.

A Figura 4.5 mostra a troca de fluxo para a mobilidade de fluxo pela ativação de outra interface de rede. Há três fluxos de tráfego passando pela interface 1. Supõe-se que a preferência da interface 2 é para o fluxo 1. Quando a interface de 4G é ativada, o fluxo 1 será movido para esta nova interface. No processo de atualização do *binding*, o fluxo de entrega está previsto para a nova interface e o LMA atribui HNP1 para a nova interface. Portanto, a interface 4G fica com o prefixo HNP1 como um prefixo de rede.



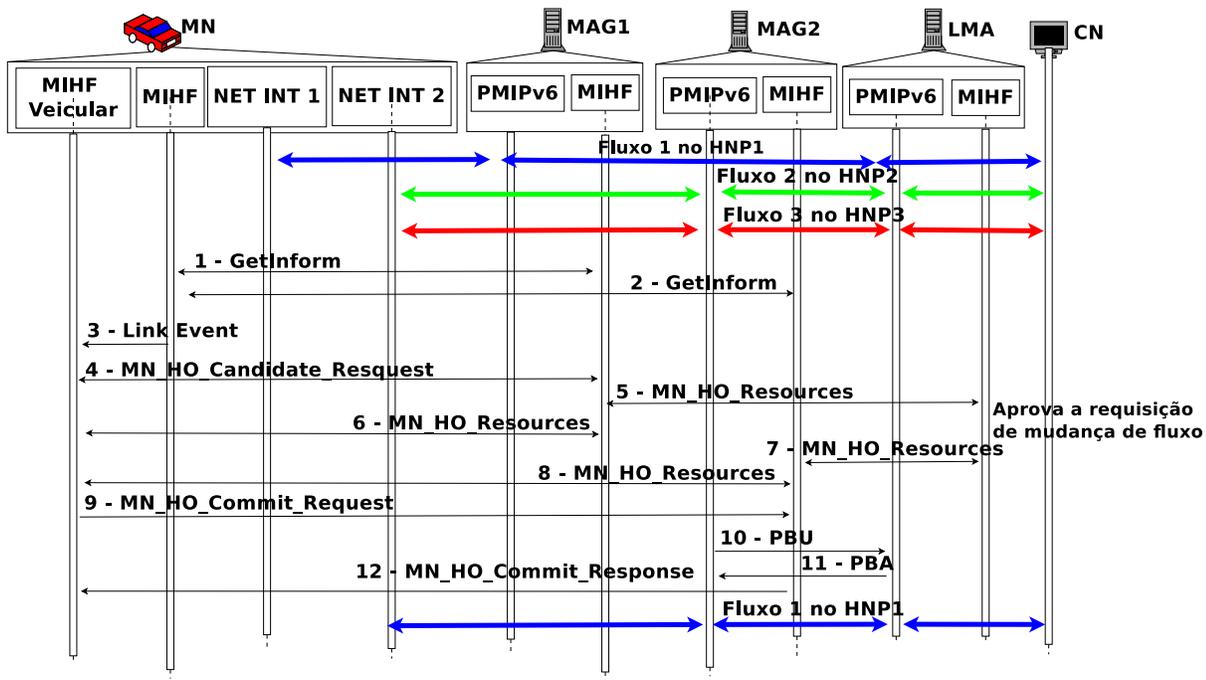


Figura 4.6: Diagrama de Sequência para troca de interface devido à iniciativa do nó móvel.

dele. Portanto, o MAG pode verificar os limiares para determinar se as condições de rede são capazes de atender as necessidades das aplicações. Se algum fluxo exceder um determinado limiar, o MAG pode comunicar ao LMA para uma possível troca de fluxo. Essa alteração pode ocorrer por dois motivos: (i) se o estado de um fluxo for inferior a um limite aceitável, o que indica que o nó pode encaminhar mais mensagens, ou (ii) se o estado de fluxo é superior a um limite aceitável, indicando uma sobrecarga no MAG.

Em ambos os casos, o procedimento para a troca do fluxo é o mesmo, mas com diferentes direcionamentos de fluxo. No primeiro caso, como o MAG pode estar em um período de ociosidade, o nó poderá indicar ao LMA que ele pode encaminhar mais mensagens. No segundo caso, quando o MAG está sobrecarregado, o nó indicará ao LMA para mudar algum fluxo para outro nó, com isso, aliviando o MAG e, conseqüentemente, procurando uma melhor qualidade na transmissão de um fluxo. Embora existam dois casos distintos, a forma como a troca do fluxo ocorre é a mesma.

A Figura 4.7 descreve a troca de fluxo inicializada pelo MAG devido a uma violação de um limite superior. Em primeiro lugar, o MAG2 envia uma solicitação ao LMA para pesquisar um possível candidato para direcionar o fluxo (1-2). Depois disso, o MAG2 envia uma mensagem para o MAG escolhido, informando que encaminhará o fluxo (3). Em seguida, o MAG1 novo, juntamente com o LMA, conduz todo o processo de atualização

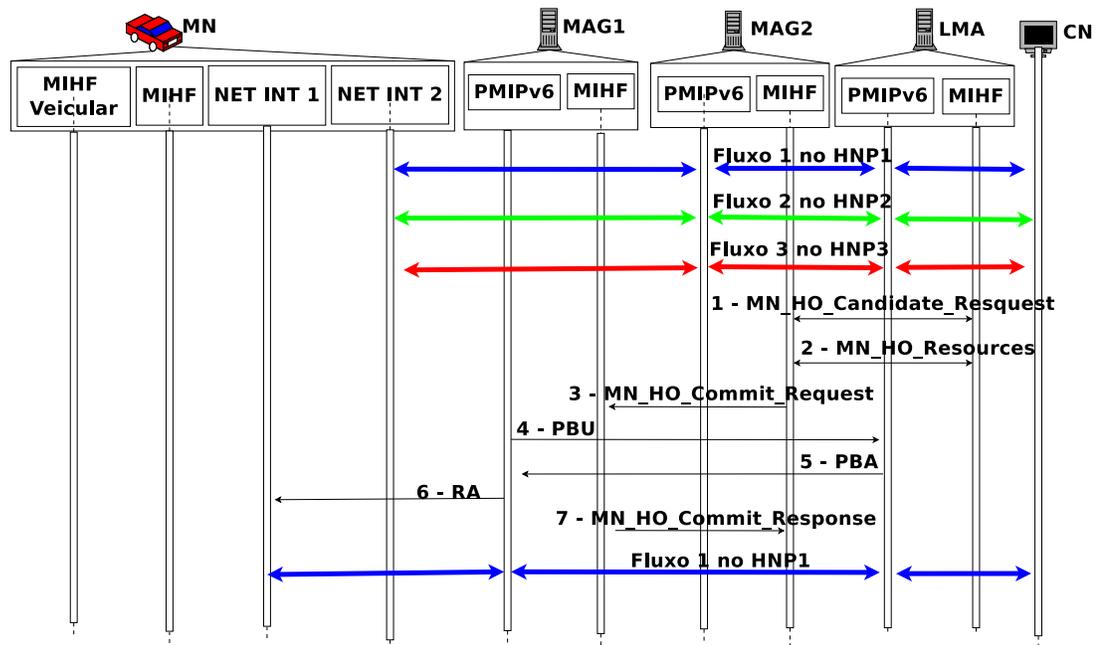


Figura 4.7: Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo MAG.

do *Binding Cache Entry* (4-5), e finalmente atualiza a informação no MN (6).

#### 4.4.3 Procedimento de Handoff no LMA

O processo de troca de fluxo no LMA é muito mais simples do que no MAG e no MN porque o LMA possui uma visão geral sobre o estado atual da rede, bem como toda a informação necessária para realizar uma mudança no fluxo. Existem duas maneiras de realizar essa mudança: (i) quando o LMA sabe que o MAG tem um HNP ligado a esse fluxo, e (ii) quando o MAG não tem um HNP ligado a esse fluxo.

A Figura 4.8 descreve a mudança do fluxo feita pelo LMA. No primeiro caso, o LMA sabe que o MAG2 já tem o HNP1 ligado ao fluxo 1, assim o LMA realiza a mudança do fluxo diretamente. No segundo caso, MAG1 não tem o HNP2 ligado ao fluxo 2, então o LMA informa ao MAG1 que HNP2 será responsável por encaminhar os pacotes do fluxo 2 (1-2). No final, o MN é notificado e começará a transmitir pacotes para o novo MAG (3).

Para auxiliar na decisão de troca de mensagem é necessário um mecanismo que indique qual será a melhor interface para um determinado fluxo. Para isso, desenvolvemos um mecanismo baseado em lógica fuzzy.

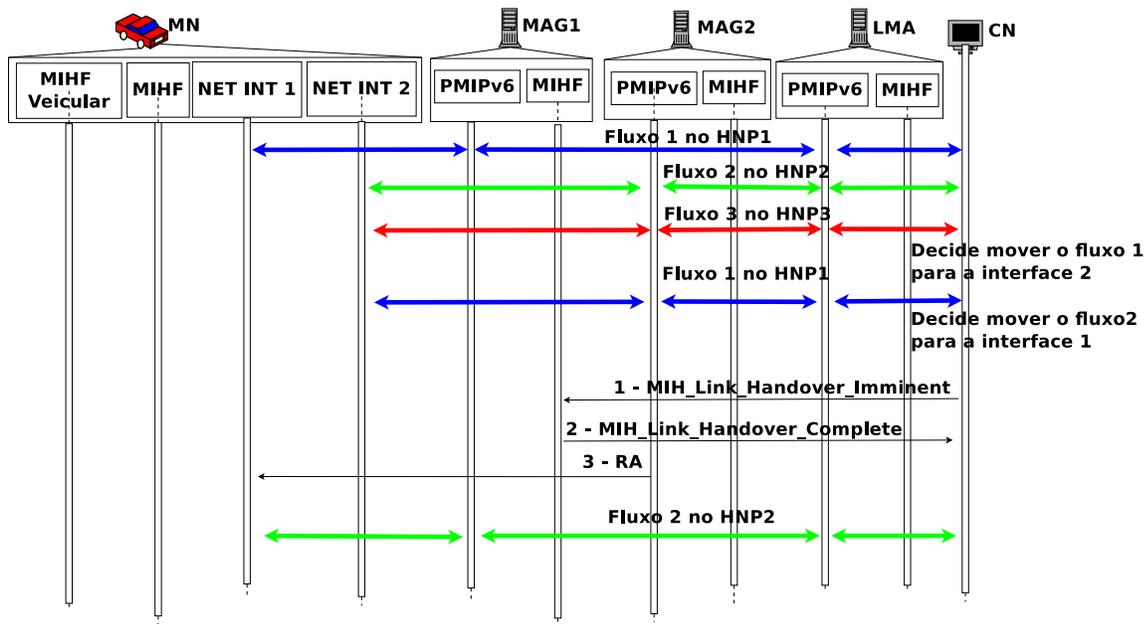


Figura 4.8: Diagrama de Sequência para troca de fluxo inicializada pelo LMA.

## 4.5 Lógica Fuzzy

Embora o protocolo 802.21 tenha como objetivo otimizar o *handoff* entre redes heterogêneas, esse protocolo não especifica um algoritmo de seleção de rede. Para abordar esse problema, desenvolvemos um mecanismo de troca de interface baseado nos requisitos mínimos de cada fluxo. Esse mecanismo utiliza lógica *fuzzy* para decidir qual interface atribuir a cada grupo e indicar se em determinado momento algum fluxo deve mudar de interface.

Para o desenvolvimento desse mecanismo utilizamos uma técnica de números *fuzzy* triangulares baseada no trabalho de Dhar e colaboradores [54]. A estrutura do número *fuzzy* triangular é:

$$u_a = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

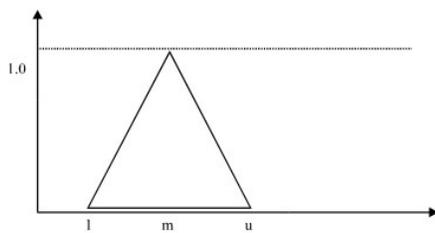
sendo as variáveis  $l$ ,  $m$  e  $u$  os limiares inferior, médio e superior de uma variável *fuzzy* e  $u_a$  o valor de pertinência. A definição acima resulta no gráfico triangular indicado na Figura 4.9(a), onde o eixo  $y$  representa a pertinência do valor *fuzzy* representado no eixo  $x$ .

Para a criação das regras *fuzzy*, utilizamos três variáveis *fuzzy*: vazão da rede, perda de pacotes e atraso das mensagens. Cada variável possui três conjuntos *fuzzy*: alta, normal

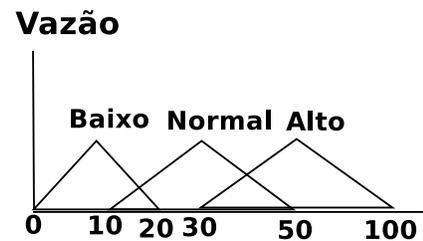
e baixa:

- Vazão: alta de 30 até 100 Kbps; normal de 10 até 50 Kbps; baixa de 0 até 20 Kbps.
- Perda: alta de 15 até 30 pacotes por segundo; normal de 5 até 20 pacotes por segundo; baixa de 0 até 10 pacotes por segundo.
- Atraso: alta de 0.3 até 1s; normal de 0.06 até 0.6s; baixa de 0 até 0.09s.

Por exemplo, os números *fuzzy* triangulares para a variável *vazão* são representados como mostra a Figura 4.9(b).



(a) Número triangular Fuzzy.



(b) Números triangulares fuzzy para a variável vazão.

Figura 4.9: Representação de números triangulares Fuzzy.

A escolha desse conjunto fuzzy e seus valores baseou-se nos padrões de avaliação de aplicações em redes veiculares da ETSI [18] e também em experimentos realizados na arquitetura ([39] e [42]).

Ao contrário do trabalho [54], que utiliza três classificações de saída (baixo, médio e alto), nós propomos a utilização de cinco variáveis de saída: muito alto, alto, normal, baixo e muito baixo. Optamos por um número maior de classes de saída para evitar uma precipitação no momento de realizar uma troca de interface, e também para fornecer um indicativo que uma interface está muito distante de atender as necessidades de um fluxo de informação. Através das combinações das variáveis de entrada com seus respectivos conjuntos, obtivemos 27 regras *fuzzy* para cada fluxo. Cada regra possui uma classificação de saída para cada tecnologia de rede. A geração dessa classificação de saída foi realizada através do fator de influência que as variáveis têm umas sobre as outras no uso de uma determinada tecnologia de rede. Para o cálculo desse fator de influência nos baseamos em [54].

Para esse cálculo é utilizado o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) com:

- O *consistency index*(CI) = 0.032909

Tabela 4.2: Matriz AHP de Fator de Influência.

Fatores	Vazão	Atraso	Perda
Vazão	1	5	7
Atraso	1/5	1	3
Perda	1/7	1/3	1

Tabela 4.3: Normalização da Matriz do Fator de Influência.

Fatores	Vazão	Atraso	Perda	Vetor de Prioridade
Vazão	0.744681	0.789474	0.636364	0.723506057
Atraso	0.148936	0.157895	0.272727	0.19318606
Perda	0.106383	0.052632	0.090909	0.08333

- O *consistency ratio* = 0.05674 < 0.1 (RI = 0.58 para n=3)

Com a matriz AHP de fator de influência (Tabela 4.2) e a Normalização da matriz do fator de influência (Tabela 4.3) é possível estabelecer as regras fuzzy. A Tabela 4.4 apresenta as regras resultantes para o fluxo de segurança.

Para dar um exemplo do uso da Tabela 4.4, suponha que o veículo está executando uma aplicação da classe de segurança e o estado da rede esteja com uma baixa vazão, que a perda de pacotes esteja normal e o atraso esteja alto, o mecanismo de decisão de troca cai na regra 22 que indica a rede LTE como a melhor rede para transmitir seus dados.

## 4.6 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentada uma arquitetura de gerência de mobilidade de fluxo baseada nas classes de aplicação das redes veiculares. Essa arquitetura considera as necessidades de cada classe de aplicação, tais como a vazão, a latência e a perda de pacote. Além disso, esta arquitetura usa o estado da rede nas interfaces de redes ativas para executar a divisão do fluxo. A divisão de fluxo não fica somente a cargo do LMA para a sua inicialização, mas cabe também ao MAG e ao MN a tarefa de tomar uma ação de mudança de fluxo.

A arquitetura é constituída de em 3 módulos embarcados nos dispositivos de rede, sendo um no LMA, um no MAG e outro no veículo. Os módulos do LMA e MAG tem componentes semelhantes, entretanto, o diferencial entre eles está no procedimento de troca dos fluxos e nos elementos de informação. Esse componentes fornecem ao LMA uma visão geral da rede pois possui, além do elemento que gerencia o estado dos fluxos, um elemento que faz um mapeamento desse gerenciador do estado de fluxos com os MAGs que estão sob seu domínio. O MAG possui o elemento de informação que abstrai os estados dos fluxos que estão vinculados às ligações entre ele e os veículos que estão sob seu domínio. Portanto, o LMA terá uma visão geral do estado da rede e o MAG terá uma visão local

Tabela 4.4: Regras do Fluxo de Segurança.

Regras	Entrada			Saída	
	Vazão da rede	Perda de pacote	Atraso	<i>WiFi</i>	LTE
1	Alta	Alta	Alta	Muito Alta	Muito Baixa
2	Alta	Alta	Normal	Muito Alta	Muito Baixa
3	Alta	Alta	Baixa	Muito Alta	Muito Baixa
4	Alta	Normal	Alta	Muito Alta	Muito Baixa
5	Alta	Normal	Normal	Alta	Muito Baixa
6	Alta	Normal	Baixa	Alta	Muito Baixa
7	Alta	Baixa	Alta	Alta	Normal
8	Alta	Baixa	Normal	Alta	Normal
9	Alta	Baixa	Baixa	Alta	Normal
10	Normal	Alta	Alta	Normal	Muito Baixa
11	Normal	Alta	Normal	Normal	Baixa
12	Normal	Alta	Baixa	Normal	Muito Baixa
13	Normal	Normal	Alta	Normal	Baixa
14	Normal	Normal	Normal	Normal	Baixa
15	Normal	Normal	Baixa	Normal	Baixa
16	Normal	Baixa	Alta	Baixa	Normal
17	Normal	Baixa	Normal	Normal	Alta
18	Normal	Baixa	Baixa	Normal	Muito Alta
19	Baixa	Alta	Alta	Muito Alta	Muito Baixa
20	Baixa	Alta	Normal	Baixa	Baixa
21	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	Alta
22	Baixa	Normal	Alta	Baixa	Alta
23	Baixa	Normal	Normal	Baixa	Alta
24	Baixa	Normal	Baixa	Baixa	Alta
25	Baixa	Baixa	Alta	Muito Baixa	Muito Alta
26	Baixa	Baixa	Normal	Muito Baixa	Muito Alta
27	Baixa	Baixa	Baixa	Muito Baixa	Muito Alta

do que está ocorrendo com seus fluxos. Por exemplo, o MAG saberá que possui 2 veículos conectados em seu domínio e que em um dos veículos está trafegando fluxos de segurança e conforto e que no segundo veículo estará trafegando fluxos de segurança e usuário. Além disso, o MAG saberá que os requisitos desses fluxos estão sendo atendidos ou não. O LMA, portanto, possuirá não só as informações desse MAG, mas também de todos os MAGs que estão vinculados ao seu domínio, fornecendo assim um conhecimento de quais fluxos passam em cada dispositivo de seu domínio e quais são as condições desses fluxos. O módulo embarcado no veículo possui os componentes voltados não só ao gerenciamento do fluxo que o veículo está transmitido, mas também ao estado da interface de rede, ou seja, o veículo saberá quais interfaces estão ativas, como está o mapeamento entre interface e fluxo, bem como quais são os estados desses fluxos. Dependendo das condições desses fluxos ou se houver a ativação de uma nova interface de rede, o veículo poderá realizar a troca de fluxos. A troca de fluxos nos módulos do LMA e do MAG inicializará somente quando os requisitos dos fluxos não estiverem mais sendo atendidos, podendo assim realizar a troca. Tanto o núcleo como o nó móvel possa inicializar uma troca de fluxos, mas somente o LMA decidirá se a troca será feita ou não.

O uso da lógica *fuzzy* para auxiliar o gerenciamento de mobilidade do fluxo proporciona uma manipulação mais dinâmica dos valores de entrada e saída, permitindo a integração com outros métodos matemáticos que permitem inferir qual é a hierarquia desses valores, como por exemplo o uso do AHP, para que se possa fazer uma melhor inferência sobre esses valores. Diferentemente de outros mecanismos, o *fuzzy* permite não só um dinamismo maior nos valores de entrada, mas também nos valores de saída. Esse dinamismo permite o desenvolvimento de uma política mais adequada à nossa arquitetura. Isso permitiu a construção de 27 regras para cada fluxo, com o intuito de evitar trocas desnecessárias entre os fluxos com isso minimizando o tempo de *handoff* e o atraso no envio das mensagens, proporcionando assim um melhor gerenciamento da mobilidade do fluxo entre múltiplas interfaces de redes ativas simultaneamente.

# Capítulo 5

## Avaliação da SFMMA

Para avaliar a arquitetura proposta realizamos diversas simulações em diferentes cenários utilizando o *Network Simulator* versão 3 (NS-3). Em alguns cenários utilizamos o NS-2. Utilizamos também o modelo PMIPv6 implementado por Hyon-Young Choi [15], e também o modelo 802.21 [51]. Os cenários avaliados foram:

- Cenário 1: Avalia a importância do uso do protocolo 802.21 para o gerenciamento de mobilidade do nó, verificando o impacto do uso desse protocolo na rede (Seção 5.1);
- Cenário 2: Avalia a divisão do fluxo de dados entre diversas interfaces de redes ativas no momento, através do uso simultâneo de mais de uma interface de rede (Seção 5.2);
- Cenário 3: Avalia o gerenciamento da divisão de fluxo entre várias interfaces simultaneamente através do uso do protocolo PMIPv6 (Seção 5.3.1); e
- Cenário 4: Avalia um mecanismo de decisão de *handoff* que auxilia na ação da troca de um fluxo de uma interface para outra (Seção 5.3.2).

### 5.1 Relevância do Protocolo 802.21

Primeiramente verificamos a importância do uso do protocolo 802.21 para a obtenção do estado da rede. Estas simulações têm como objetivo avaliar o tempo médio dos *handoffs* e a distribuição da conexão entre as interfaces de rede. Por isso, optou-se por não ter qualquer nó fora do alcance de qualquer ponto de acesso. A arquitetura foi avaliada utilizando quatro métricas: vazão, perda de pacotes, tempo de atraso dos pacotes, e tempo de *handoff*.

Na camada de aplicação, modificamos o suporte *Overlay* para ambientes virtuais colaborativos em redes veiculares apresentado em [40], que desenvolveu uma extensão do

protocolo Gnutella [29] para fornecer conectividade aos participantes de um jogo ou até mesmo participantes de uma situação de um evento real de preparação e resposta a emergência em um ambiente virtual. Para isso, assumimos que os ambientes virtuais colaborativos estão divididos em hexágonos de tamanhos iguais, gerando um conjunto de células, como mostrado da Figura 5.1. Usuários pertencentes a uma mesma célula fazem parte de uma mesma área de interesse. Essa divisão do ambiente virtual tem como objetivo reduzir a quantidade de mensagens que trafegarão na rede. Em nossas simulações o seletor de enlace escolhe a rede que fornece as seguintes características: rede com menor atraso nas mensagens, rede com maior velocidade de transmissão, rede com menor perda de pacotes.

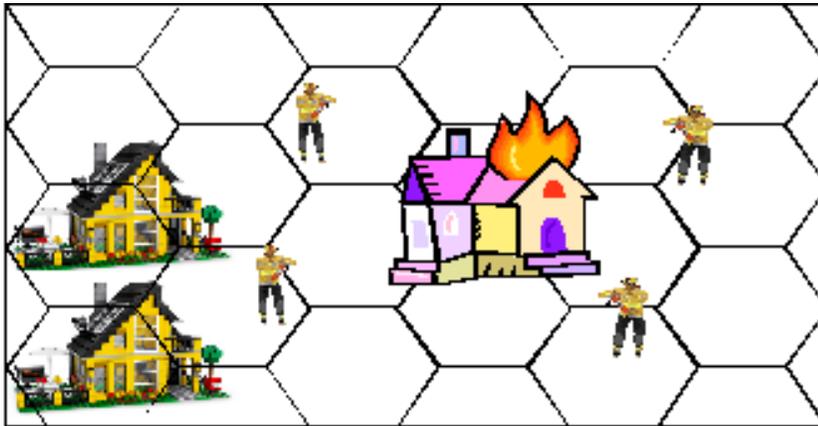


Figura 5.1: Abstração do ambiente virtual.

Para verificar a importância do protocolo 802.21 no gerenciamento de mobilidade dos nós em redes heterogêneas foram realizados dois cenários de simulação. O primeiro cenário inclui um ponto de acesso WiMax e um ponto de acesso *WiFi*. O segundo cenário possui um ponto de acesso LTE e um ponto de acesso *WiFi*.

### 5.1.1 Cenário com Ponto de Acesso WiMax e *WiFi*

A arquitetura foi implementada no *Network Simulator 2* (ns-2), utilizando o modelo do NIST [47] que já tem implementado o protocolo 802.21 e fornece a possibilidade de um nó possuir mais de uma interface de rede. Como cenário de simulação utilizamos: o modelo de mobilidade *Random Waypoint*, 50 veículos se movimentando, um nó cabeado e um roteador que conecta as estações base das redes *WiFi* e WiMax (Figura 5.2). Esse modelo de mobilidade, o *Random Waypoint*, faz com que os veículos se movimentem de forma aleatória.

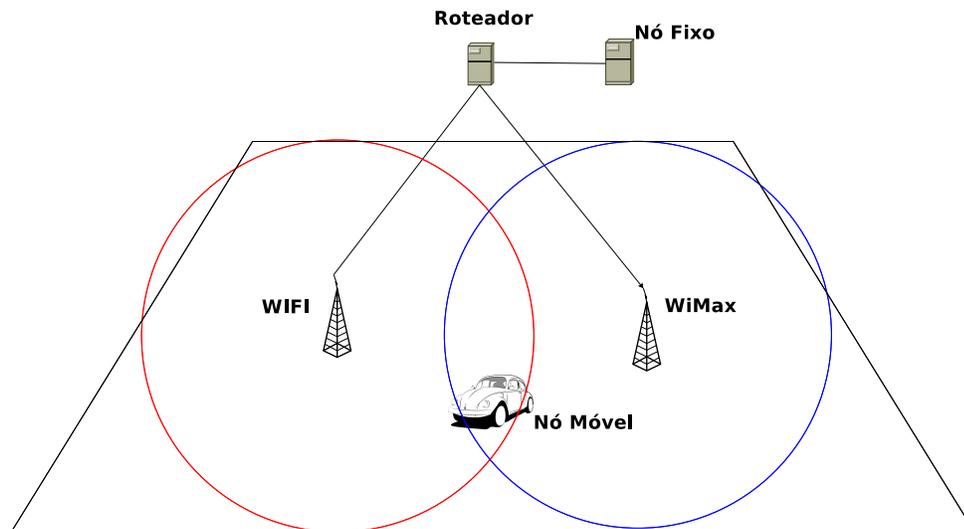


Figura 5.2: Topologia com ponto de acesso WiMax e um ponto de acesso *WiFi*.

Para este cenário de simulação avaliamos o uso do protocolo 802.21 para o gerenciamento de mobilidade do nó em redes heterogêneas, ou seja, qual é o impacto do uso desse protocolo na realização de um *handoff* vertical.

Foram realizadas simulações variando a velocidade dos veículos entre 5, 10, 15, 20 e 25 metros por segundo. Para cada cenário foram realizadas 33 simulações. Calculamos os intervalos de confiança de 95%, entretanto alguns intervalos não são visíveis nas figuras pelos seus valores pequenos.

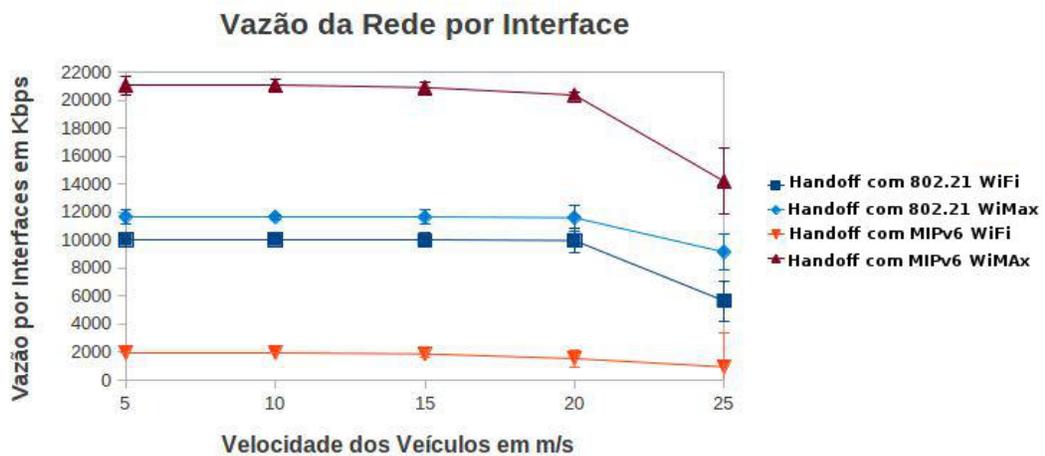


Figura 5.3: Vazão por interface de rede considerando arquiteturas com o protocolo 802.21, com o protocolo MIPv6 e com ambos, usando as tecnologias *WiFi* e *WiMax*.

A Figura 5.3 apresenta o gráfico de vazão de cada interface de rede. Podemos observar

que o mecanismo de *handoff* que utilizou o protocolo 802.21 teve um melhor balanceamento entre as redes sem fio, pois o protocolo 802.21 fornecia informações sobre o estado da rede, ou seja, fornecia dados importantes para a melhor seleção da rede, para que os requisitos da aplicação fossem garantidos. Entretanto no caso onde só utilizamos o protocolo MIPv6 é possível observar que grande parte das conexões foi gerenciada pela rede *WiMax*, pois o mecanismo de *handoff* não tinha informações suficientes para realizar a melhor escolha da rede deixando o nó na rede em que já estava conectado. Uma pequena melhoria com o uso do IEEE 802.21 também pode ser vista quando somamos a vazão de todas as interfaces, como mostrado na Figura 5.4.

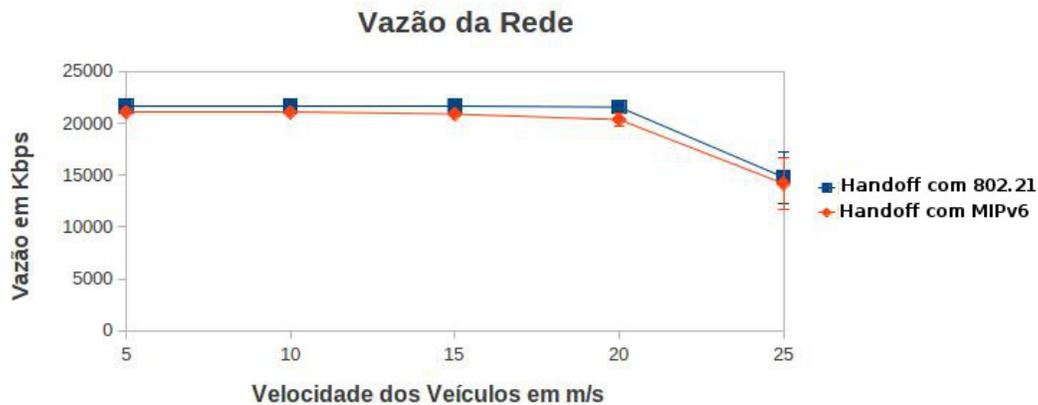


Figura 5.4: Vazão da rede considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *WiMax*.

Até 20 m/s o mecanismo que utiliza o protocolo 802.21 fornece uma vazão um pouco melhor na rede, devido à menor quantidade de pacotes perdidos, tanto pela desconexão do nó, quanto pela perda de pacotes no momento da realização do *handoff*. Podemos observar também uma queda na vazão da rede quando a velocidade aumenta para 25 m/s. Isso ocorre pois há um aumento no número de pacotes perdidos, como pode ser visto na Figura 5.5.

A Figura 5.5 mostra a quantidade de pacotes perdidos pela rede. Podemos observar uma maior perda de pacotes quando utilizamos somente o MIPv6. Esse aumento na perda de pacotes ocorre pois o tempo de *handoff* desse mecanismo foi maior do que no caso do mecanismo com o 802.21, como podemos ver na Figura 5.6. Com isso houve uma maior perda de mensagens no momento de *handoff*. Em um cenário onde os nós se movimentam com uma velocidade de 20 m/s ocorre uma média de 10 *handoffs*, ou seja, uma média de 10 veículos desconectados devido ao *handoff*, com uma média de 0.04 s de desconexão. O mecanismo sem o protocolo 802.21 teve uma média de 28 pacotes perdidos a mais do que

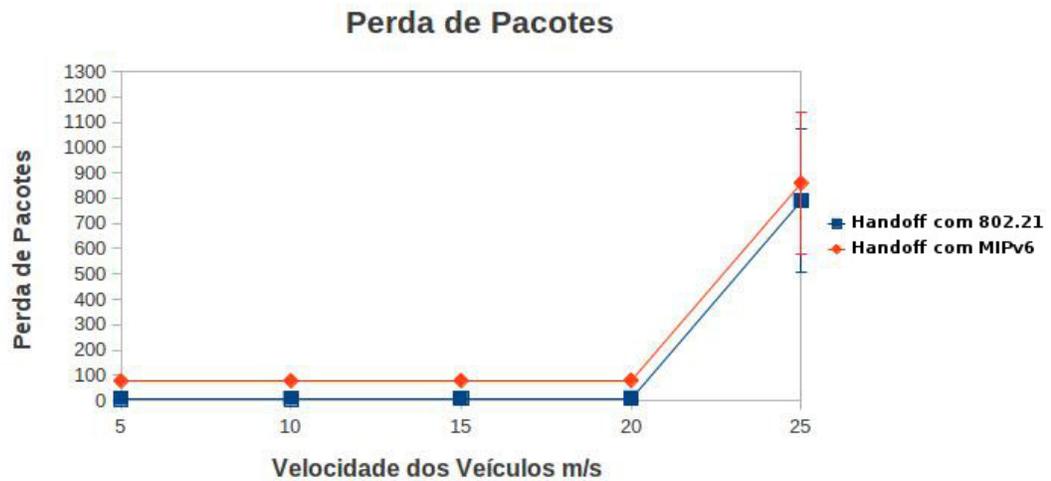


Figura 5.5: Perda de pacotes considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *WiMax*.

com o protocolo 802.21 no momento do *handoff*, com tempo médio de atraso superior a 0.06s.

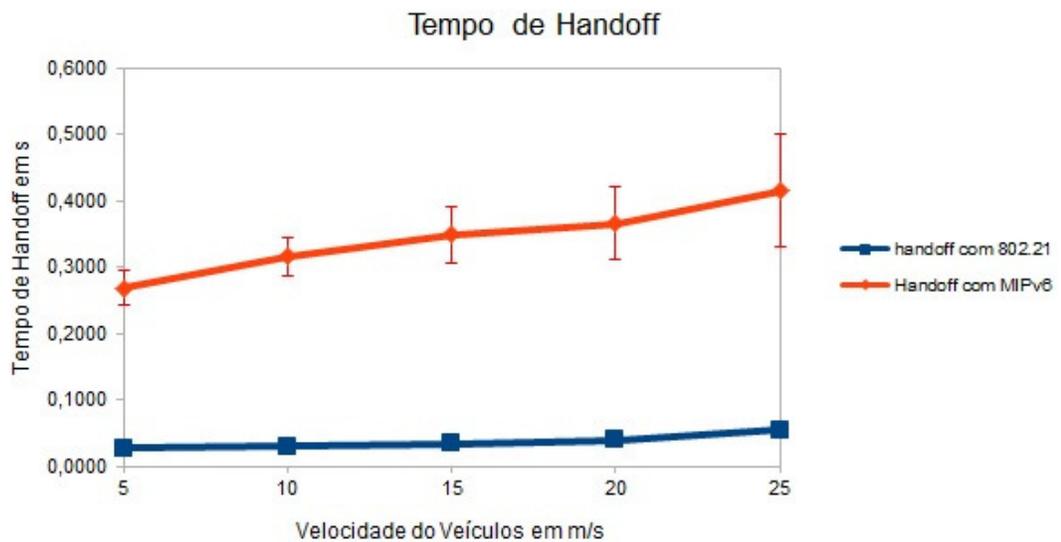


Figura 5.6: Tempo de *handoff* considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *WiMax*.

A Figura 5.6 mostra que o tempo de *handoff* do mecanismo que utiliza o protocolo 802.21 é menor do que no caso do outro mecanismo, pois com o protocolo 802.21 elimina-se a necessidade de algumas mensagens no momento da descoberta e da troca de novas

redes. Esse tempo de *handoff* causou um pequeno impacto no atraso dos pacotes, visto na Figura 5.7.

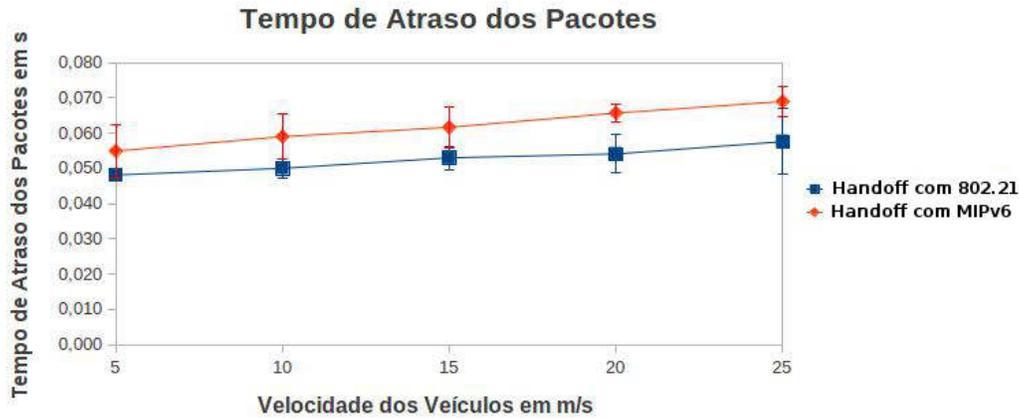


Figura 5.7: Tempo de atraso dos pacotes considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo MIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *WiMax*.

Podemos observar nesta figura que o mecanismo que utilizou somente o MIPv6, ou seja sem o IEEE 802.21, teve um atraso maior na entrega dos pacotes do que no caso do mecanismo com o uso do IEEE 802.21, devido ao tempo de *handoff* e também pela quantidade de pacotes perdidos, havendo a necessidade de algumas retransmissões.

Em resumo os gráficos demonstram que a arquitetura proposta obteve um melhor balanceamento das conexões, um menor tempo de *handoff* e também um menor tempo no atraso dos pacotes comparado com a arquitetura que só possui o protocolo MIPv6.

### 5.1.2 Cenário com Ponto de Acesso LTE e *WiFi*

Neste cenário a arquitetura foi implementada no *Network Simulator 3* (ns-3), utilizamos o modelo de mobilidade *RandomWaypoint*, 50 veículos que utilizam o suporte *overlay* para ambientes virtuais colaborativos. Um nó com fio e um roteador conectando duas estações base (uma *WiFi* e uma LTE) como podemos ver na Figura 5.8. Usamos os parâmetros padrão do NS3 para configurar os módulos do LTE e as estações base *WiFi*. Essas estações base estão colocadas no meio de um mapa com 5.000 x 5.000 metros quadrados. Conduzimos várias simulações variando a velocidade dos veículos entre 5, 10, 15, 20 e 25 metros por segundo. No início de cada simulação, todos os nós foram ligados ao ponto de acesso LTE. Foram realizadas 33 simulações para cada cenário e foram calculados intervalos de confiança de 99 %.

A Figura 5.9 mostra a vazão média de cada interface. Observamos que a arquitetura proposta tem um melhor equilíbrio entre as redes sem fio, pois a extensão do protocolo

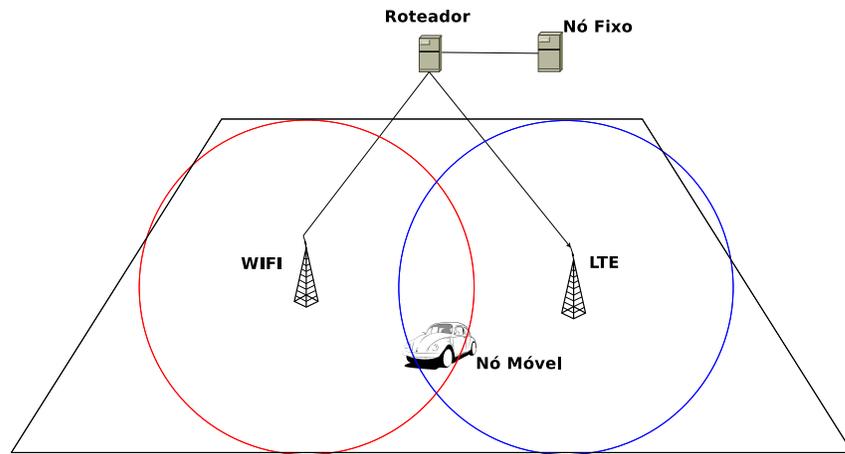


Figura 5.8: Topologia com ponto de acesso LTE e um ponto de acesso *WiFi*.

802.21 fornece informações mais relevantes sobre o estado da rede. Em outras palavras, a extensão de 802.21 forneceu dados importantes para a melhor seleção da rede, de modo que os requisitos de aplicação possam ser garantidos. No entanto, no caso em que se usa apenas o protocolo PMIPv6, a maioria das conexões foi gerenciada pelo LTE, uma vez que o mecanismo de transferência não tem informações suficientes para fazer a melhor escolha de rede.

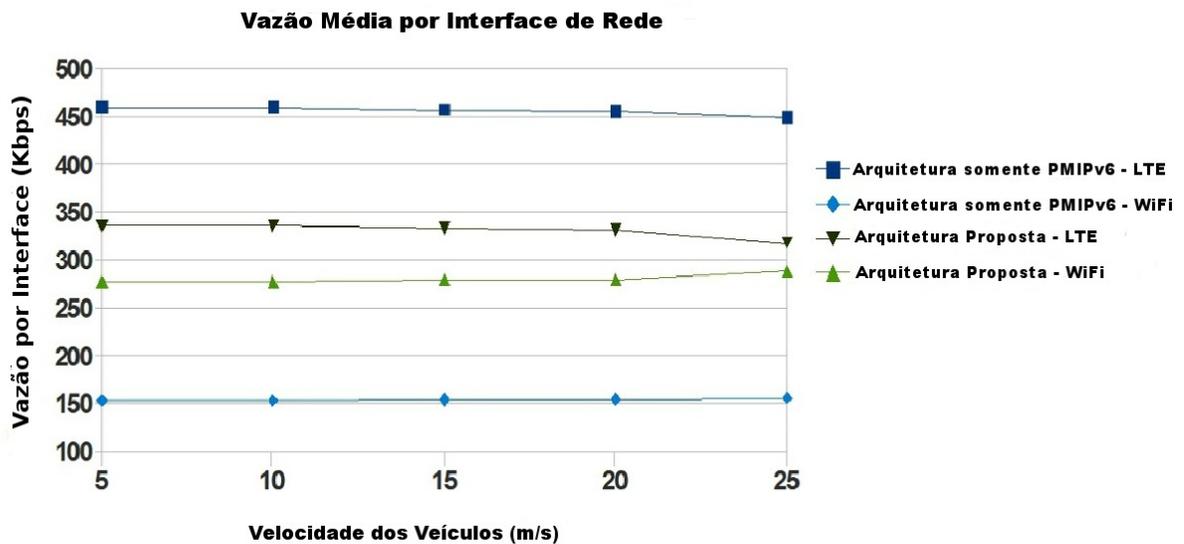


Figura 5.9: Vazão por interface de rede considerando arquiteturas com ou sem o uso do protocolo PMIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *LTE*.

Como mostrado na Figura 5.10, o mecanismo que utiliza a extensão do protocolo

802.21 fornece uma pequena melhora na vazão da rede devido à baixa perda de pacotes no momento do *handoff*, e também devido à perda de pacotes baixa durante a troca entre as áreas de interesse no ambiente virtual. Observamos, também, uma queda na vazão da rede quando a velocidade aumenta para 25 m/s. Isso ocorre porque há um aumento no número de pacotes perdidos, como pode ser visto na Figura 5.11.

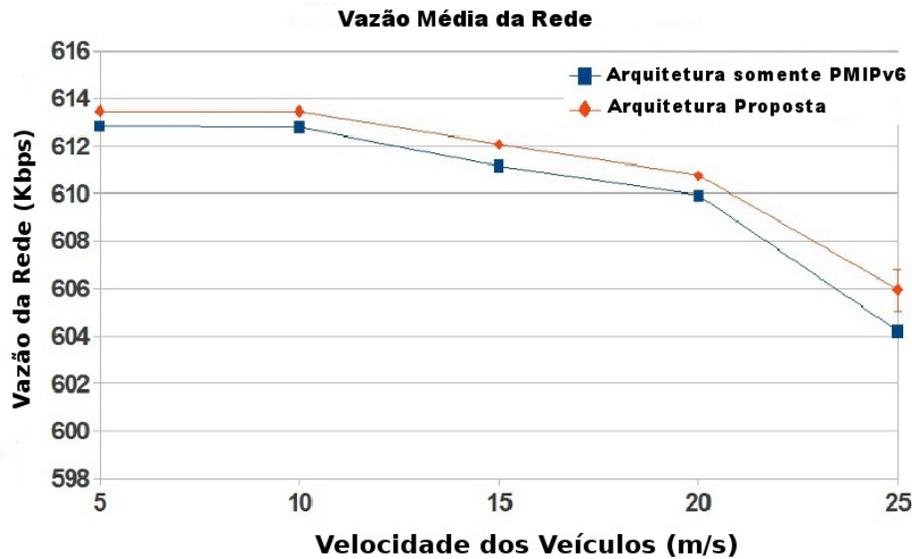


Figura 5.10: Vazão Média considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *LTE*.

A quantidade de perda de pacotes na rede foi maior quando usamos apenas o PMIPv6. Essa arquitetura com somente o PMIPv6 apresentou mais perdas de pacotes durante a troca de uma área de interesse para outra no ambiente virtual, e também durante o *handoff*. Isso ocorre porque a arquitetura com apenas o protocolo PMIPv6 passa mais tempo na busca de quem está usando o mesmo aplicativo, além do maior tempo de *handoff* comparado com a nossa arquitetura, como mostrado na Figura 5.12. Além dos dados mostrados nas figuras, também observamos que nas simulações para veículos com velocidade de 20 m/s, houve uma média de 96 desconexões devido ao *handoff*, com um tempo médio de desconexão de 0.008s. O mecanismo que utiliza apenas o protocolo PMIPv6 apresentou perda de pacotes 54% maior do que a arquitetura que utilizou o protocolo 802.21.

A Figura 5.12 mostra que o tempo de *handoff* do mecanismo proposto, que utiliza a extensão do protocolo 802.21, é menor do que o outro mecanismo, porque a extensão do protocolo 802.21 elimina a necessidade de algumas mensagens no momento da mudança de uma rede para outra. O tempo de *handoff* causou um pequeno impacto sobre o atraso de

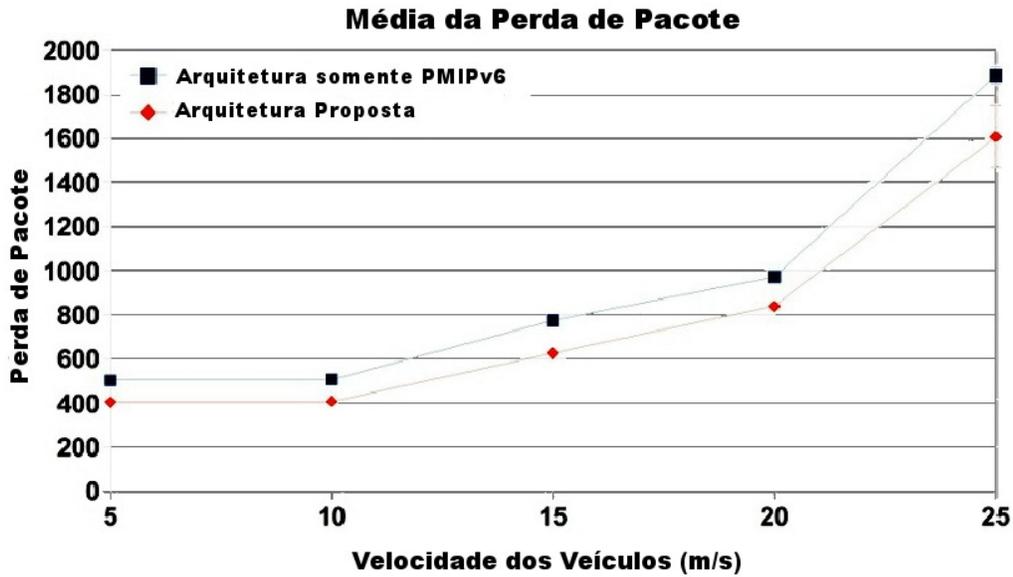


Figura 5.11: Perda de pacotes considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e *LTE*

pacotes, como mostrado na Figura 5.13. Pode-se observar nessa figura que o mecanismo que utiliza apenas o PMIPv6 apresentou maior atraso na entrega dos pacotes do que o mecanismo proposto. Isso ocorre devido aos diferentes tempos de *handoff* e também devido à quantidade de pacotes perdidos, que exigem algumas retransmissões.

Em resumo, os gráficos mostram que a arquitetura proposta conseguiu um melhor equilíbrio entre as conexões, um menor tempo de *handoff*, e também um atraso menor em comparação com a arquitetura que tem apenas o protocolo PMIPv6. Essa melhoria é fundamental para a interatividade, que se refere ao atraso entre a geração de um evento em um nó até a chegada da mensagem a todos os participantes. Além disso, o atraso das mensagens influencia na consistência da aplicação, ou seja, se os usuários estiverem utilizando um jogo com o objetivo de matar seu inimigo, se um dos usuários atirar na direção de seu adversário, esse tiro poderá acertar o jogador na tela de quem atirou, mas por causa do atraso na entrega da mensagem de atualização do jogo, o outro jogador poderá não ter recebido o tiro, com isso afetando a consistência do ambiente.

## 5.2 Divisão do Fluxo

Após verificarmos a importância da utilização do protocolo 802.21 avaliamos o impacto de utilizar mais de uma interface de rede simultaneamente. Para isso, dividimos as aplicações das redes veiculares em classes, onde cada classe tem um requisito de aplicação

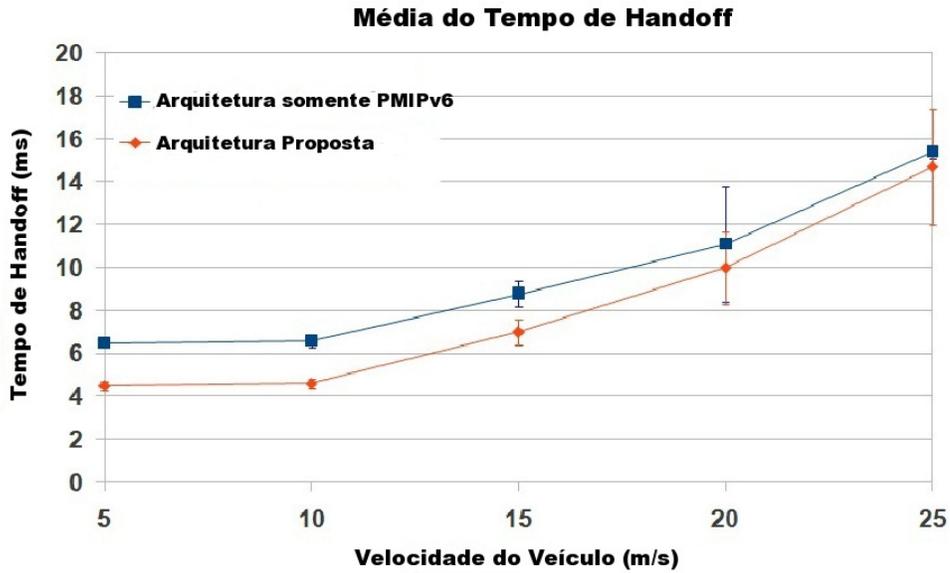


Figura 5.12: Tempo de *handoff* considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e LTE.

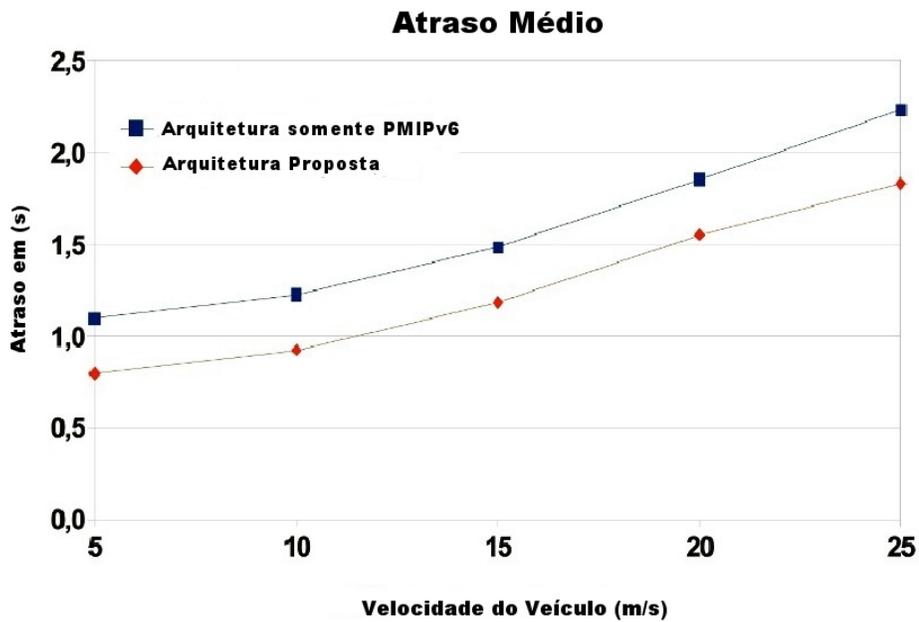


Figura 5.13: Atraso médio considerando arquiteturas com protocolo 802.21 e com protocolo PMIPv6 usando as tecnologias *WiFi* e LTE

diferente [41].

O objetivo dessa simulação é verificar o impacto que o nosso modelo causa tanto para a rede como nas aplicações. Foram utilizadas quatro métricas: vazão, perda de pacotes, atraso e atraso por classe de aplicação.

Nessa simulação, cada veículo está executando uma aplicação de cada classe, ou seja, uma aplicação da classe de segurança, uma aplicação da classe conforto e uma aplicação da classe de usuário. A frequência de mensagens para cada aplicação segue os padrões da União Europeia de Normalização das Telecomunicações (ETSI) [18]: a aplicação de segurança envia uma mensagem a cada 0,1s, a aplicação do usuário envia uma mensagem a cada 1s, e a aplicação de conforto envia uma mensagem a cada 0,7 s.

Realizamos as simulações com 50 carros, que estão viajando em um mapa real. Para o mapa, foi utilizada uma área de 600 metros quadrados, que é uma região central da cidade de Campinas, em São Paulo, Brasil (Figura 5.14). Usamos a Simulação de Mobilidade Urbana (SUMO) [21] para converter o mapa extraído do OpenStreetMap [2] para um formato aceitável para o simulador.

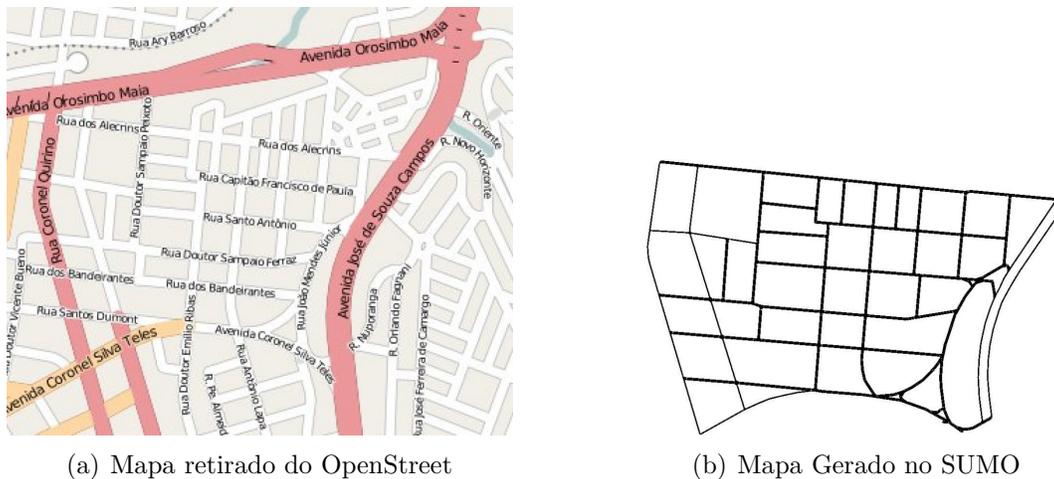


Figura 5.14: Mapa de Campinas.

A velocidade dos nós variou de 10 a 16 metros por segundo. Em seguida, selecionamos uma série de veículos para enviar e receber mensagens dos 3 tipos diferentes de aplicação. Variamos entre 6, 12, 18, 24, 30, e 36 veículos que executam as três classes de aplicação, ao mesmo tempo, enquanto os outros veículos apenas trafegam nas ruas sem enviar ou receber mensagens. Todos os veículos estão dentro da área de cobertura de ambos os pontos de acesso, *WiFi* e *LTE* (Figura 5.15). A topologia de rede consiste em um nó com fio, três nós de *backbone*, um ponto de acesso *LTE*, e um ponto de acesso *802.11p*. Foram realizadas 10 simulações para cada cenário e calculamos intervalos de confiança de 95%.

Definimos 5 cenários para avaliar o modelo de escalonamento proposto:

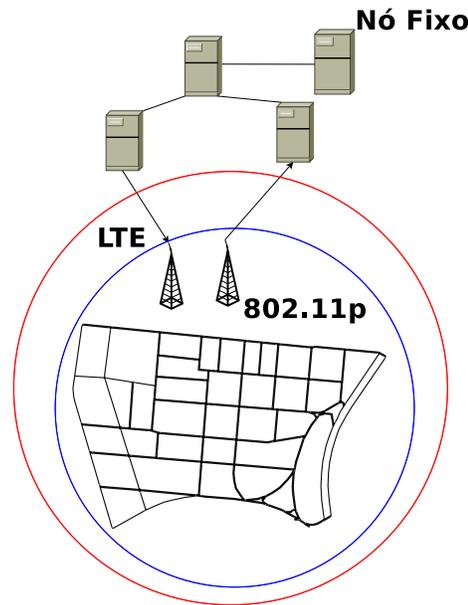


Figura 5.15: Topologia com ponto de acesso LTE e um ponto de acesso 802.11p.

- **LTE:** Todos os nós utilizam somente a rede LTE para transmitir e receber informações.
- **WiFi:** Todos os nós utilizam somente a rede *WiFi* para transmitir e receber informações.
- **LTE + WiFi:** Ambas as redes, LTE e *WiFi*, estão ativas no ambiente, mas os nós apenas enviam informações sobre uma única interface, isto é, pela interface ao qual o nó está atualmente conectado. Para trocar um nó de interface de rede, utilizamos o mecanismo de limiar para a execução do *handoff*. Todos os nós estão conectados inicialmente à rede *WiFi*.
- **Proposta 1:** Ambas as redes, LTE e *WiFi*, estão ativas no ambiente e os nós podem usar ambas para enviar e receber dados. Neste cenário, aplicações da classe de segurança são diretamente mapeadas na rede LTE, e as aplicações das classes de conforto e de usuário competem pela interface *WiFi* (802.11p). Portanto, mensagens de segurança são transmitidas somente na rede LTE, enquanto mensagens de usuário e de conforto são enviadas através da interface 802.11p.
- **Proposta 2:** Ambas as redes, LTE e *WiFi*, estão ativas no ambiente e os nós podem usar ambas para enviar e receber dados. Ao contrário da proposta 1, neste cenário as aplicações de segurança e conforto competem pela rede LTE, e a rede *WiFi* é diretamente mapeada para a classe de usuário.

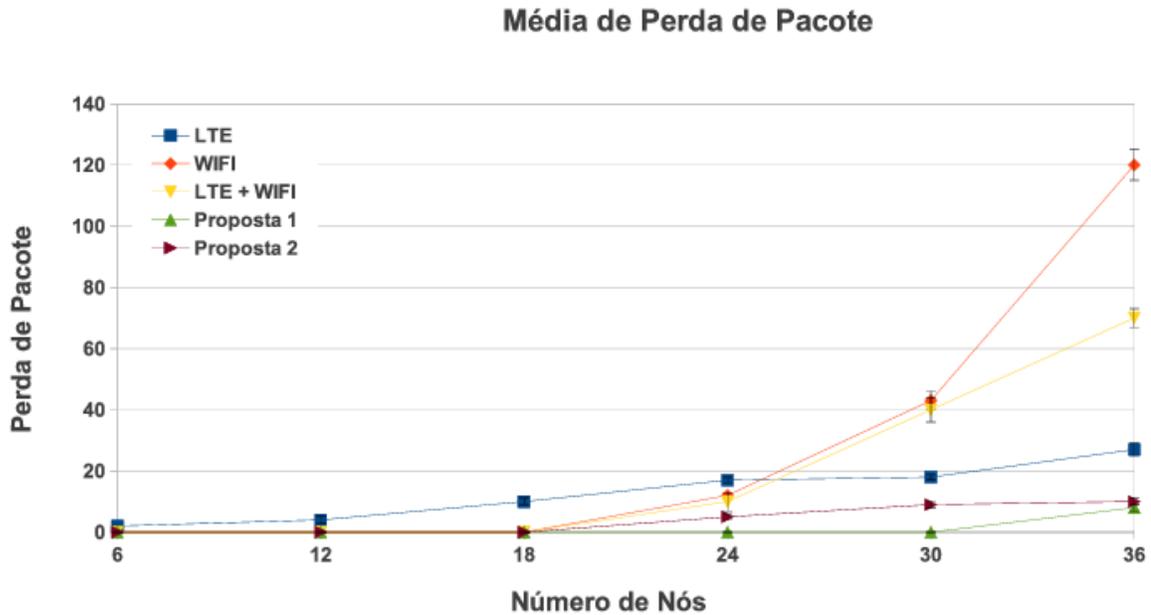


Figura 5.16: Perda de pacotes com divisão de fluxo dos dados.

Todos os veículos têm duas interfaces de rede, LTE e 802.11p, e ambas as interfaces têm seus endereços previamente atribuídos. Para a configuração de LTE e 802.11p usamos a configuração padrão do NS-3, o que proporciona uma área de cobertura de aproximadamente 5 km para o LTE e cerca de 1 km para os canais de serviço do protocolo 802.11p.

A Figura 5.16 mostra a média de perda de pacotes. Observamos que tanto a proposta 1 quanto a proposta 2 tiveram perdas de pacotes menores do que os outros cenários, porque, ao contrário dos outros cenários, as propostas são capazes de dividir a carga de pacotes que precisam ser enviados para diferentes interfaces de rede. Com 36 participantes, a proposta 2 teve uma redução no número de perda de pacotes de até 92% em comparação com os outros três cenários. Além disso, observamos um aumento de perda de pacotes nos cenários *WiFi* e *WiFi + LTE*, devido à interferência da rede e também pela sobrecarga na estação base *WiFi*. Isso ocorre devido à sobrecarga de retransmissões de mensagens e a alta taxa de envio de mensagem dos nós. Estas perdas de pacotes não têm um impacto relevante sobre a taxa de transferência da rede, como visto na Figura 5.17.

Podemos ver na Figura 5.17 que, quando existem 36 nós, tanto a proposta 1 quanto a proposta 2 tiveram o mesmo desempenho, e foram estatisticamente melhores do que os outros cenários. No entanto, com menos participantes, descobrimos que todos os cenários obtiveram desempenho semelhante, considerando-se a sobreposição dos intervalos de confiança. Proposta 1 e proposta 2 tiveram uma média de rendimento 8% maior do

que os outros três cenários. Esta semelhança está relacionada com o tipo de mensagens perdidas. Se compararmos um cenário com perdas de muitos pacotes, mas com pacotes pequenos, tais como pacotes da classe segurança (20 bytes), com um cenário que perde menos pacotes, mas com tamanhos maiores, tais como pacotes de classe de usuário (512 bytes), observamos uma vazão de rede similar.

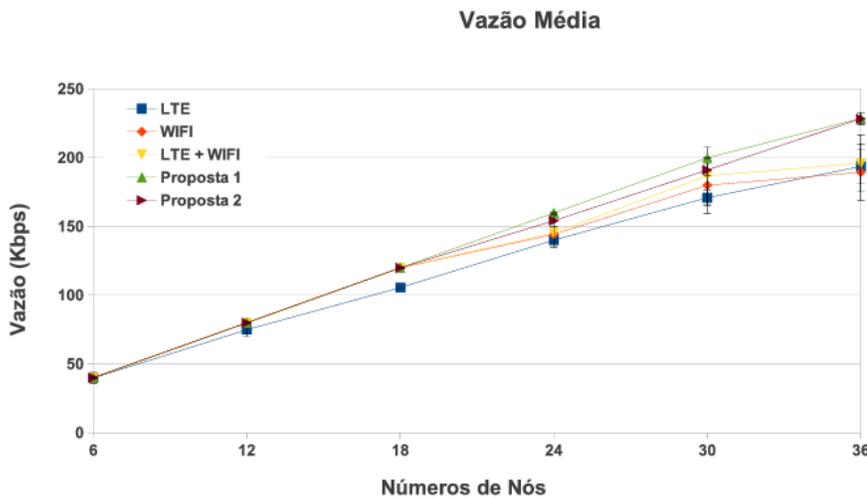


Figura 5.17: Vazão da rede com divisão de fluxo dos dados.

A Figura 5.18 mostra o atraso médio de todas as classes de aplicação. Podemos ver que com até 24 participantes, o cenário usando apenas *WiFi* apresentou melhor desempenho do que os outros cenários, porque o protocolo 802.11p utiliza quatro canais de serviço para enviar mensagens. Embora a proposta 1, a proposta 2, e *LTE + WiFi* utilizem a tecnologia *WiFi*, esses cenários tiveram seus atrasos afetados devido ao tempo de entrega de mensagens na rede *LTE*. A proposta 1 e a proposta 2 tiveram uma redução média de 4% no atraso quando comparadas com o cenário de *handoff*. Com 36 participantes, a proposta 1 e proposta 2 tiveram uma redução média de 26% quando comparadas com *WiFi* e uma redução média de 2% quando comparadas com o *LTE*. Proposta 1 e proposta 2 realizaram um melhor balanceamento para a carga de pacotes a serem enviados, como visto na Figura 5.19.

O atraso de todas as aplicações está abaixo dos valores padrão do ETSI [18]. Observou-se que com mais de 24 veículos participantes, os menores atrasos de aplicação são encontrados em proposta 1 e proposta 2. No entanto, dependendo da classe de aplicação, estes atrasos são equivalentes. Com 36 nós o tempo de atraso das classes de segurança de aplicativos para *LTE*, proposta 1 e proposta 2 são equivalentes. Para o mesmo número de veículos, podemos observar um aumento de atraso no cenário *WiFi*, devido ao número de retransmissões terem ocorrido por interferência na rede e também pela sobrecarga de

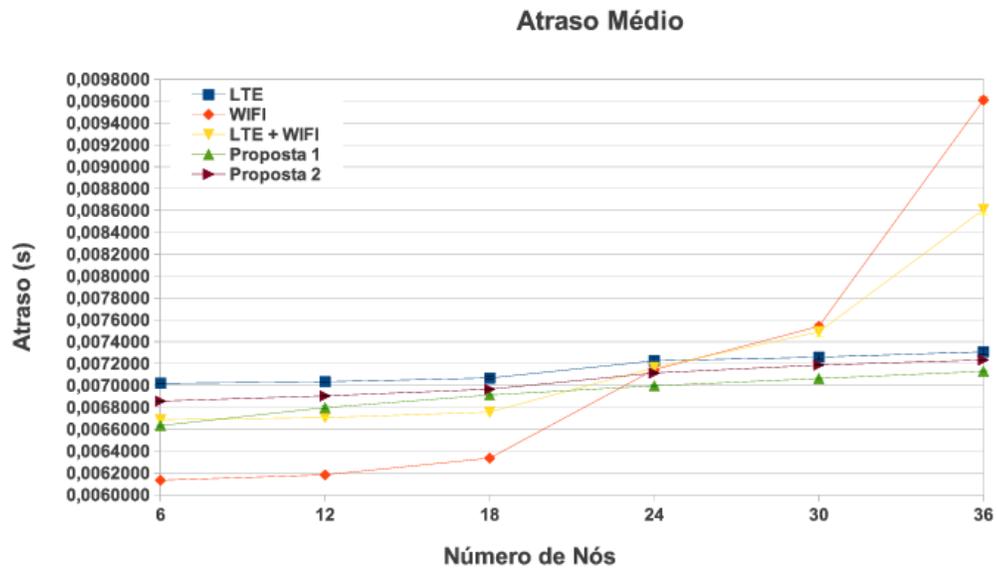


Figura 5.18: Atraso médio com divisão de fluxo dos dados.

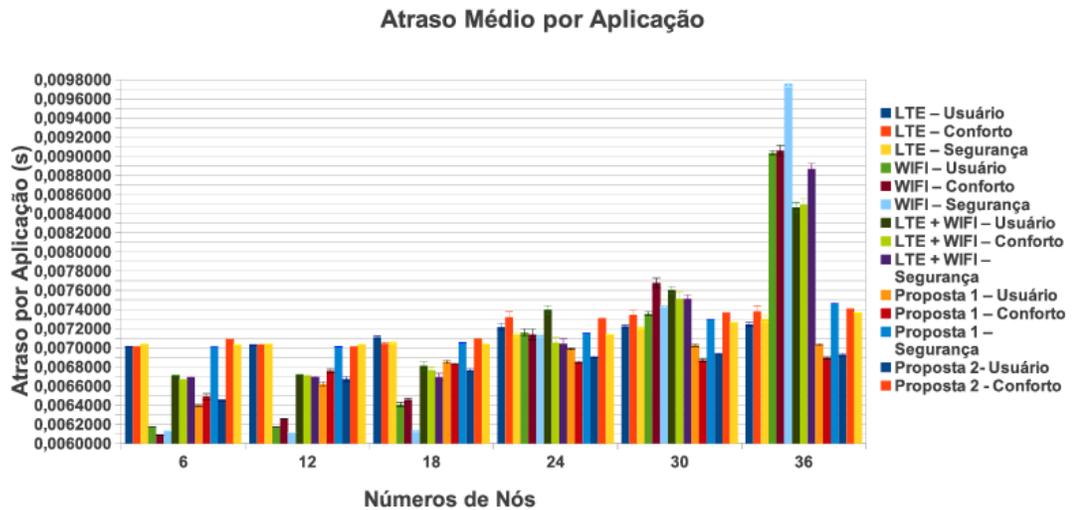


Figura 5.19: Atraso por Aplicação com divisão de fluxo dos dados.

pacotes na estação de base.

A proposta 1 e a proposta 2 utilizaram todos os benefícios do uso simultâneo de mais de uma interface de rede, com isso alcançando uma baixa perda de pacotes, mantendo uma boa vazão na rede e também um baixo atraso que não ultrapassou os padrões estabelecidos pelo ETSI [18]. Esses resultados foram possíveis porque o cenário proposto dividiu o tráfego de mensagens entre diferentes interfaces de rede.

### 5.3 Cenários de Simulação para a Avaliação do Núcleo da Proposta

Após a verificação da eficiência do uso de mais de uma interface de rede simultaneamente e também verificar o impacto de dividir as aplicações da rede veicular em classes diferentes, transformamos essas classes em fluxos de aplicação. Para isso criamos outro cenário de simulação para avaliar os módulos do núcleo da proposta, o gerenciamento de divisão do fluxo e o mecanismo de decisão de *handoff*.

Nesse cenário de simulação, cada veículo estava executando uma aplicação de cada classe, ou seja, uma aplicação da classe segurança, uma aplicação da classe conforto e uma aplicação da classe de usuário. Como nas simulações anteriores, a frequência de mensagens para cada aplicação segue os padrões da European Telecommunication Standardization Institute (ETSI) [18].

Realizamos simulações com 50 veículos que estavam trafegando no mapa. Em seguida, selecionamos uma série de veículos para enviar e receber mensagens dos 3 tipos diferentes de aplicação. Variamos entre 10, 20, 30, 40, e 50 o número de veículos que executam as três classes de aplicação, ao mesmo tempo, enquanto os outros veículos só se movimentam nas ruas, mas sem enviar ou receber mensagens. Todos os veículos estão dentro do alcance de um ponto de acesso da rede celular, mas os pontos de acesso da rede sem fio não cobrem todo o mapa. A topologia da rede consistia de um nó cabeado, cinco nós de backbone, um ponto de acesso LTE, e três pontos de acesso 802.11p (Figura 5.20). Foram realizadas 10 simulações para cada cenário e calculamos intervalos de confiança de 95%.

Foram utilizados dois mapas para modelar a mobilidade dos veículos. O primeiro é o modelo de mobilidade Manhattan e o segundo é o trecho de mapa real usado na simulação anterior. Para criar o modelo de mobilidade Manhattan usamos o *bonmotion* [1], que criou uma grade com quatro linhas e seis colunas. Nesse mapa, variamos a velocidade dos veículos, entre 5, 10, 15, 20 e 25 m/s, a fim de verificar se há qualquer impacto da velocidade sobre o desempenho da arquitetura proposta.

Para avaliar o gerenciamento de divisão de fluxo e o mecanismo de decisão de *handoff* foram utilizadas cinco métricas: tempo de *handoff*, perda de pacotes, atraso, atraso por

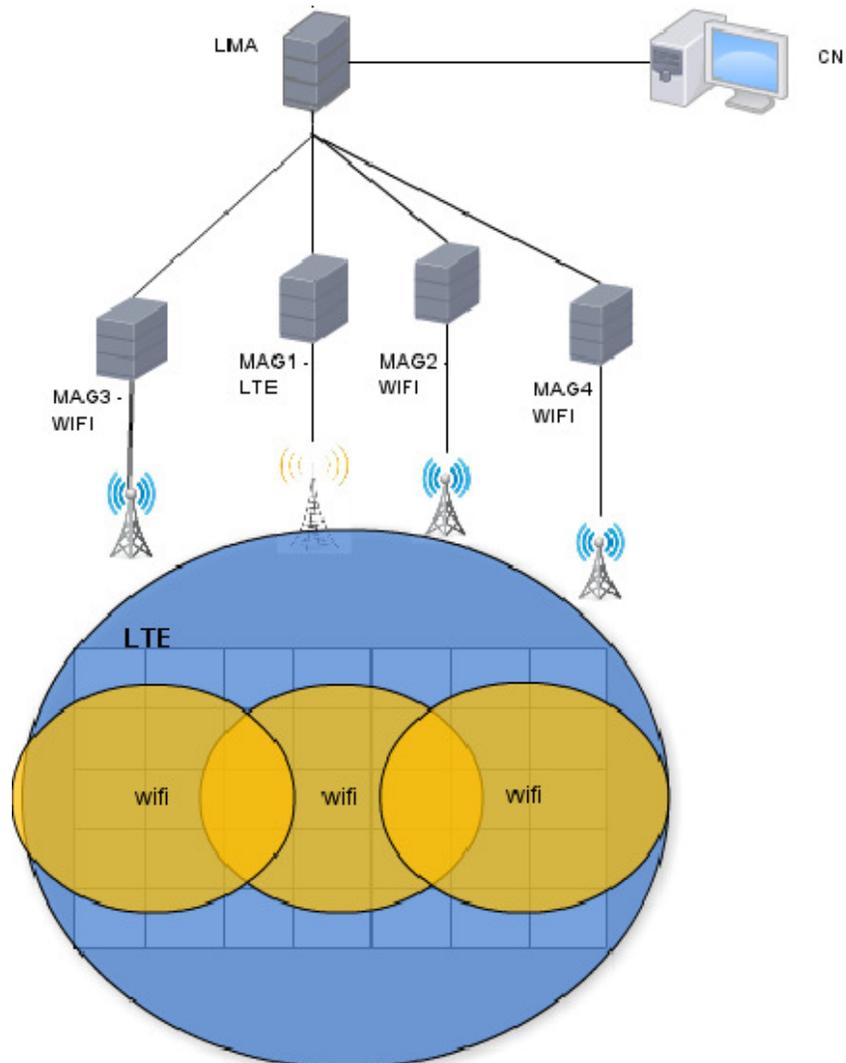


Figura 5.20: Topologia da simulação, para avaliação do núcleo da proposta.

classe de aplicação e vazão.

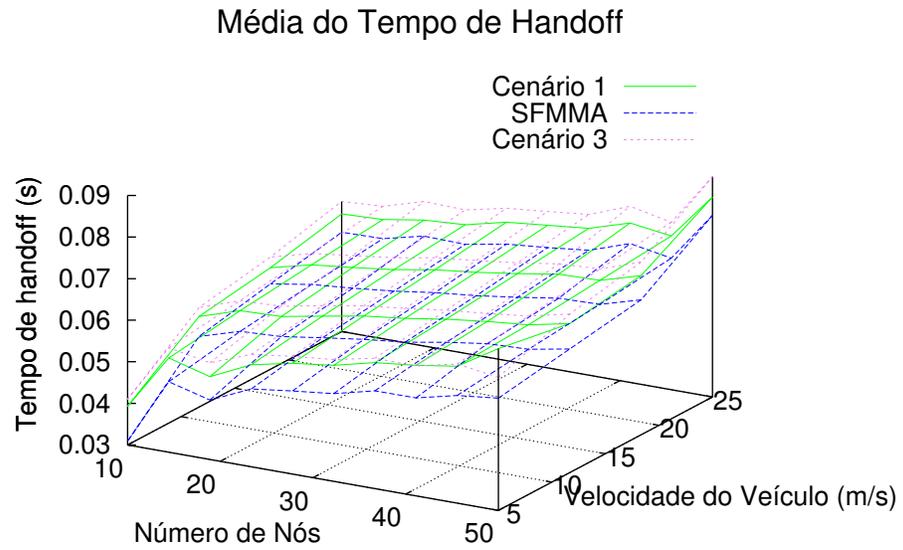
### 5.3.1 Gerenciamento de Divisão de Fluxo

O objetivo dessa simulação foi verificar o impacto do uso de nossa arquitetura sobre a rede e as aplicações. Com isso, pretende-se verificar se o mapeamento das classes de aplicações para diferentes tecnologias de rede não sobrecarrega a rede, se o tempo de mudança de fluxo não afeta a aplicação e a rede, e também para verificar se o mapeamento atende aos requisitos mínimos de aplicação, tais como latência e perda de pacotes.

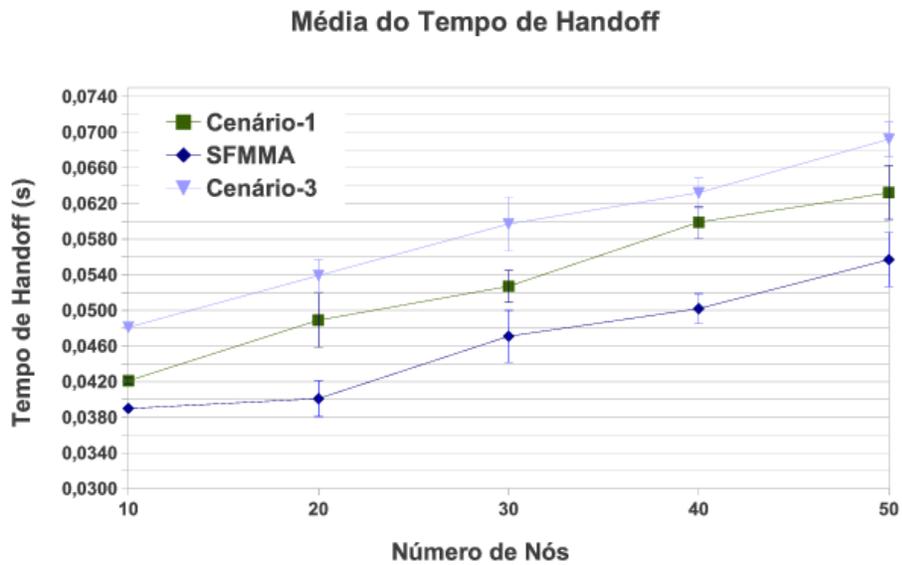
Definimos quatro cenários diferentes para avaliar a nossa arquitetura:

- Cenário 0: Todos os nós usam apenas a rede LTE para transmitir e receber informação, com isso, nenhum *handoff* é realizado.
- Cenário 1: Todos os nós usam apenas a rede *WiFi* para transmitir e receber informações, mas os nós podem mudar entre os pontos de acesso *WiFi*, assim, ocorrem apenas *handoffs* horizontais.
- *Seamless Flow Management Architecture* (SFMMA) - nossa proposta: Ambas as redes LTE e *WiFi* são ativas no ambiente, e os nós podem usar ambas as redes para enviar e receber dados simultaneamente. Neste cenário, a classe de aplicação de segurança tem a preferência de usar a rede LTE, e as classes usuário e de conforto têm preferência na interface sem fio (802.11p). Assim, as mensagens de segurança podem ser enviadas através da interface LTE quando esta interface estiver ativa, enquanto as mensagens das classes usuário e conforto são enviadas através da interface 802.11p, quando esta interface estiver ativa.
- Cenário 3: A rede LTE e as redes *WiFi* são ativas no ambiente, mas os nós só enviam e recebem informações através de uma única interface, ou seja, a interface a qual o nó está conectado. Todos os nós são conectados ao ponto de acesso *WiFi* no tempo 0.

Em todas essas situações, o fluxo de dados é do veículo para o nó cabeado. Todos os veículos têm duas interfaces de rede, LTE e 802.11.p. A configuração padrão de cada módulo do NS3 é usada tanto para o LTE quanto para o 802.11p. Organizamos os veículos em dois mapas diferentes, a fim de fazer comparações. O mapa de Manhattan foi utilizado para verificar o desempenho da arquitetura proposta em função do número de participantes, e também através da variação da velocidade dos veículos. O segundo mapa, de Campinas, teve como objetivo avaliar as possíveis variações no desempenho com a configuração de ruas.



(a) Mobilidade Manhattan.



(b) Mobilidade Real.

Figura 5.21: Tempo médio de *handoff* do gerenciamento de divisão de fluxo.

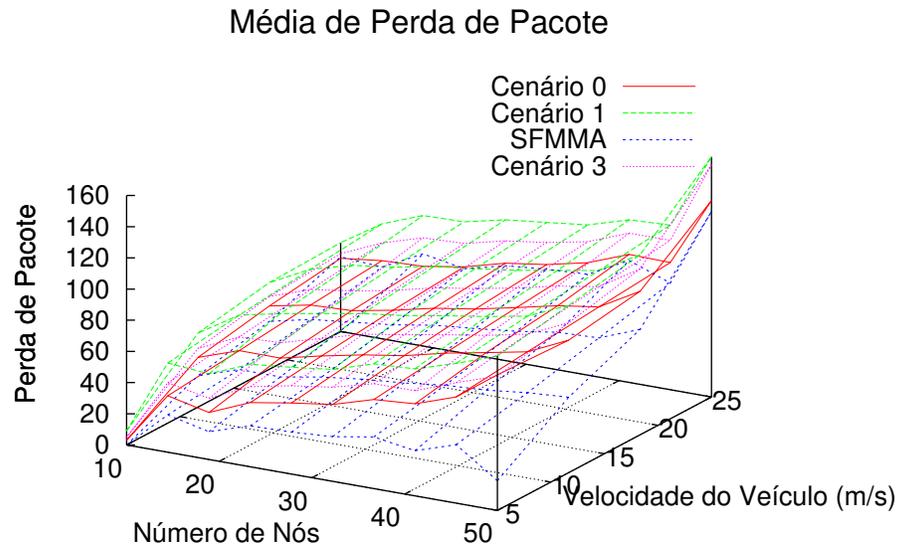
Tabela 5.1: Vazão da Rede para o Mapa Real, em Kbps.

Cenário	Número de Nós				
	10	20	30	40	50
Cenário-0	69.42	138.78	208.11	277.49	346.85
Cenário -1	69.31	138.65	207.91	277.20	346.34
SFMMA	69.42	138.84	208.22	277.54	346.92
Cenário -3	69.35	138.71	208.05	277.39	346.54

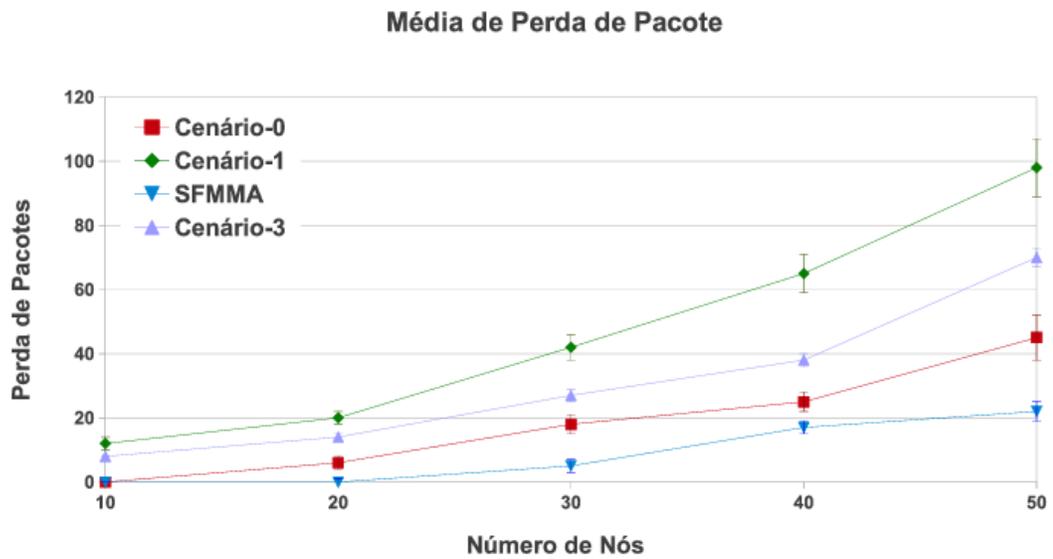
A Figura 5.21 mostra a média do tempo de *handoff*. O cenário 0 foi excluído dessa análise, pois esse cenário não realiza *handoff*. Nesses gráficos pode-se observar que o SFMMA tem um menor tempo de *handoff*, tanto no mapa real quanto no mapa Manhattan. Esse resultado está relacionado com o número de *handoffs* ocorridos e o estado da rede no momento do *handoff*. Analisando a Figura 5.21(a) para velocidades de 20-25 m/s, pode-se observar que em todos os cenários existe um aumento no tempo de *handoff* devido a um aumento no número de *handoffs*. No entanto, o SFMMA teve um melhor desempenho, pois reduziu o número de *handoffs*, aproveitando o conhecimento prévio sobre as condições da rede e os seus fluxos, evitando mudanças desnecessárias. Ao analisar o número de *handoffs* com o mapa real e com 30 veículos envolvidos (não mostrado nos gráficos), observou-se que o cenário 1 tinha 18 *handoffs* a mais do que o SFMMA, e o cenário 3 teve uma média de 8 *handoffs* a mais que o cenário 1. Assim, o cenário 3 teve uma média de 26 *handoffs* a mais do que o SFMMA. Mas ao comparar os dois mapas, observa-se que o mapa real teve uma média de tempo de *handoff* 8% maior do que no cenário com o mapa Manhattan. Essa diferença sugere que a topologia da rua tem pouco impacto no desempenho da arquitetura proposta. No entanto, o tempo de *handoff* pode ter impacto sobre a perda de pacotes, como podemos ver na Figura 5.22

Podemos ver na Figura 5.22 que a SFMMA teve menos perdas de pacotes em ambos os mapas, mostrando que o tráfego dividido entre as duas interfaces foi eficaz em evitar a sobrecarga nas duas tecnologias de rede. Analisando a Figura 5.22(a) com velocidades de 20-25 m/s todos os cenários apresentaram um aumento médio de 55% de perdas de pacotes em relação às velocidades menores. Essa perda de pacotes ocorre devido à interferência de sinal, adicionado ao tempo de desconexão do nó, isto é, o tempo de *handoff*, que teve uma média de 0.065s. Considerando 50 veículos e uma velocidade de 10 m/s, no mapa Manhattan o SFMMA obteve uma redução média de perda de pacotes de aproximadamente 88% em comparação com os outros cenários, enquanto no mapa real o SFMMA obteve uma média de 89% de redução de perdas quando comparado a outros cenários. Além disso, a baixa taxa de perdas de pacotes do SFMMA não teve um impacto relevante sobre a vazão da rede, como mostrado na Figura 5.23 e Tabela 5.1.

A Figura 5.24 mostra o atraso médio de todas as classes de aplicação. Na Figura



(a) Mobilidade Manhattan.



(b) Mobilidade Real.

Figura 5.22: Perda de pacote do gerenciamento de divisão de fluxo.

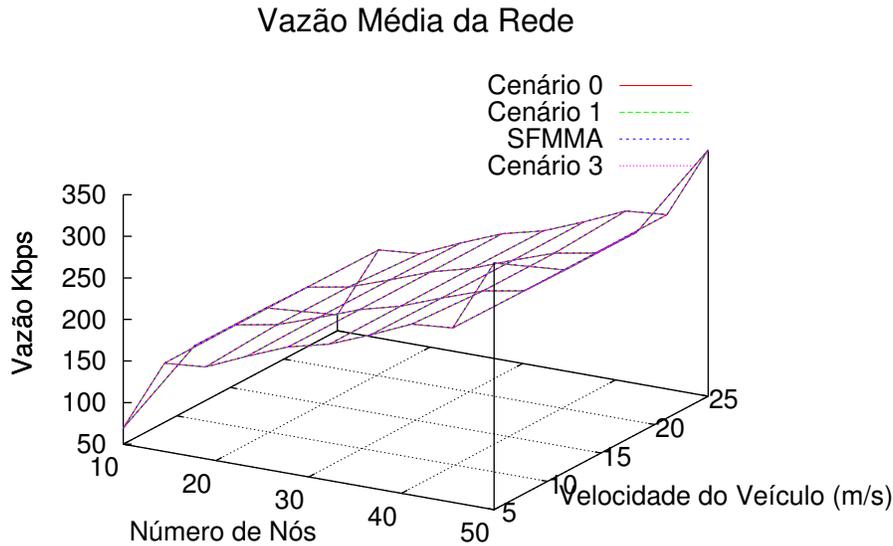
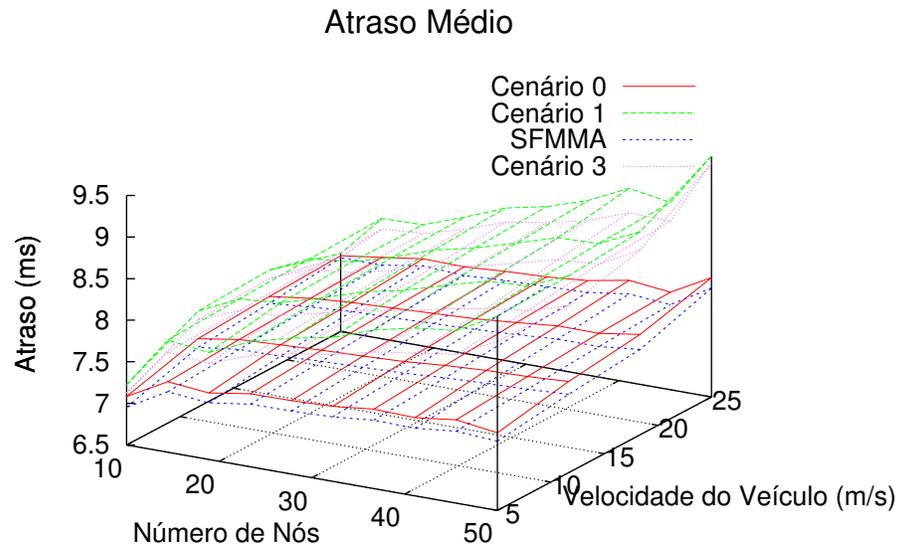


Figura 5.23: Vazão da rede para o mapa Manhattan do gerenciamento de divisão de fluxo.

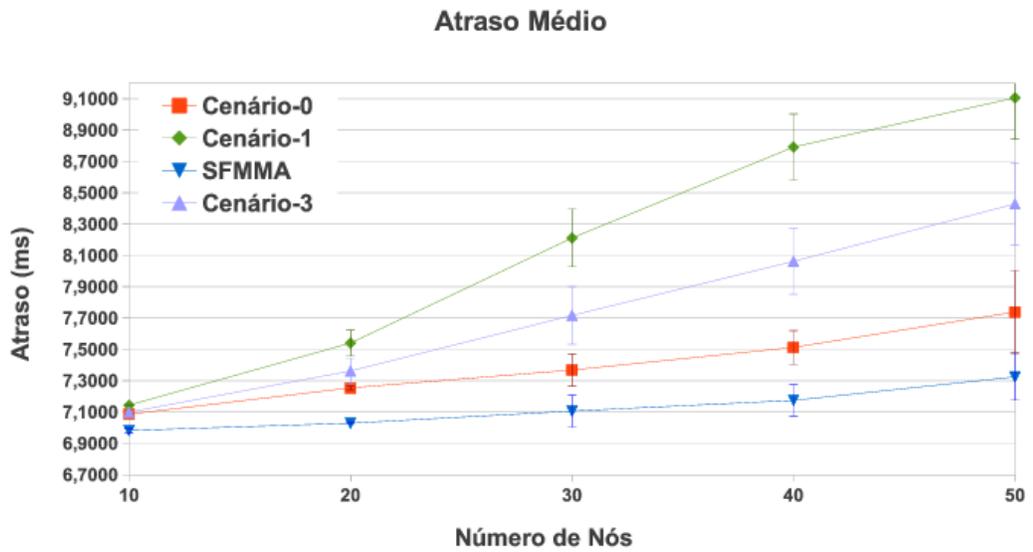
5.24(a) observamos um pico no cenário 1 e no cenário 3. Este pico está relacionado com a perda de pacotes devido às interferências e durante a troca de pontos de acesso. Com 40 participantes e velocidade de 25 m/s, o SFMMA apresenta uma redução média de atraso de 19% em comparação com o cenário 1 e 16% em relação ao cenário 3. Na Figura 5.24(b), quando há 50 carros, a SFMMA teve uma redução de 5,5% em média de atraso em relação ao cenário 3. Além disso, a arquitetura proposta teve uma redução média de 71% sobre outros cenários no gráfico 5.24(b). O SFMMA obtém um melhor equilíbrio dos pacotes a serem enviados, como pode ser inferido a partir da Figura 5.25.

Na arquitetura proposta, as simulações mostraram que o atraso de todas as aplicações ficou abaixo dos valores padrão do ETSI. Na Figura 5.25(a), mantivemos a velocidade do veículo em 10 m/s para obter o atraso por aplicação. Podemos ver nas Figuras 5.25(a), 5.25(b), para 30 veículos, que os menores atrasos foram alcançados pelo SFMMA, mesmo com estes atrasos sendo equivalentes para algumas classes de aplicação.

Os resultados apresentados das simulações sugerem que as redes veiculares implantadas sobre a nossa proposta de arquitetura tem bom desempenho. No melhor dos casos a arquitetura proposta conseguiu uma média de tempo de *handoff* 62% menor que nos demais cenários, uma redução de 88% de perda de pacotes e 71% de atraso. Durante a simulação, o cenário proposto utilizou todos os recursos da arquitetura apresentada, e conseguiu uma perda de pacotes baixa, mantendo uma boa vazão na rede e também

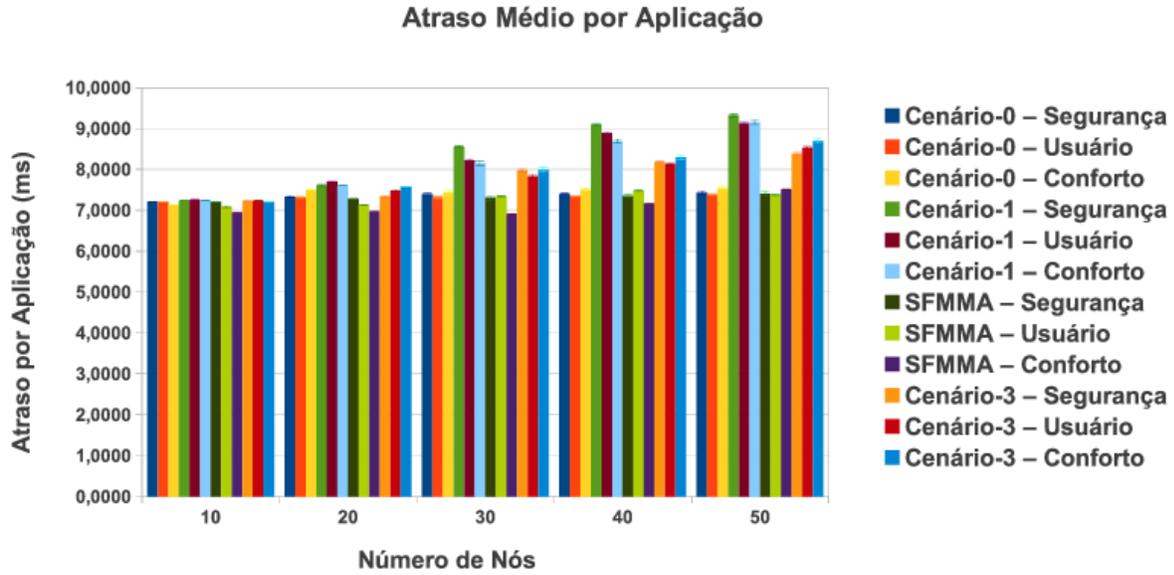


(a) Mobilidade Manhattan.

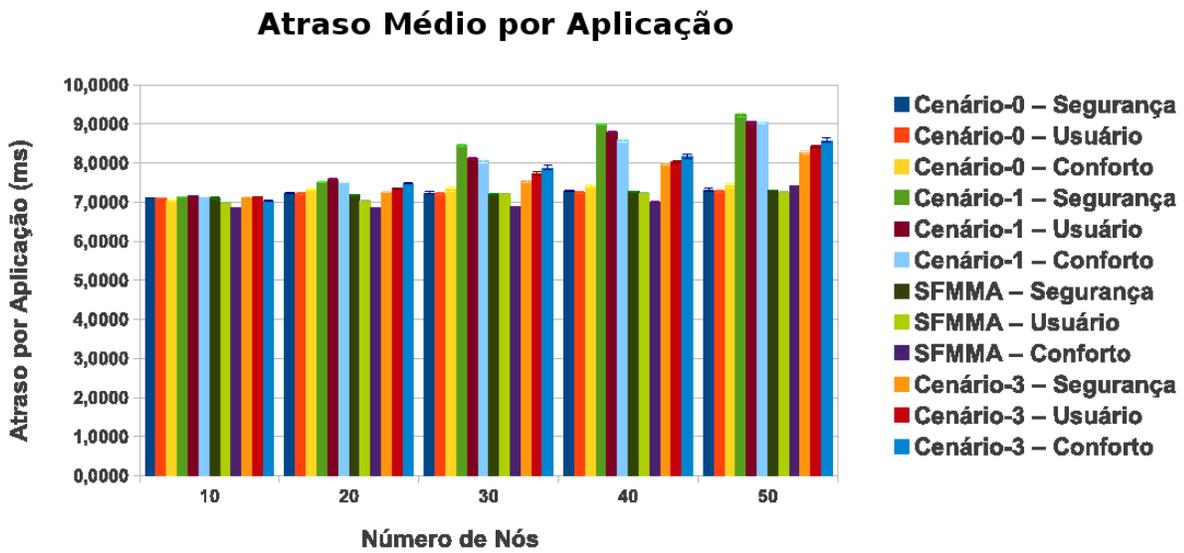


(b) Mobilidade Real.

Figura 5.24: Atraso médio do gerenciamento de divisão de fluxo.



(a) Mobilidade Manhattan.



(b) Mobilidade Real.

Figura 5.25: Atraso médio por aplicação do gerenciamento de divisão de fluxo.

um atraso baixo, nunca excedendo os padrões estabelecidos pelo ETSI. Estes resultados foram possíveis porque a arquitetura proposta é capaz de dividir a carga de pacotes entre diferentes interfaces de rede.

### 5.3.2 Mecanismo de Decisão de *Handoff*

Por fim, realizamos simulações para verificar qual seria o mecanismo de decisão de *handoff* que melhor se adequa à nossa arquitetura, ou seja, o melhor mecanismo para indicar qual é a melhor interface para um determinado fluxo. A finalidade dessas simulações foi verificar o impacto que o nosso mecanismo de escolha causa na rede e nas aplicações. Com isso, pretendemos verificar se o mecanismo está realizando um bom mapeamento dos fluxos de informação das classes de aplicativos para as interfaces de rede sem sobrecarregar nenhuma rede. Utilizamos 4 políticas diferentes nesta avaliação:

**Proposta:** Mecanismo proposto baseado em lógica *fuzzy*. Utilizamos uma técnica de números fuzzy triangulares, como descrito na Seção 4.5. Os valores dos limiares *fuzzy* foram obtidos através de experiências anteriores [39] [41] e também pelo padrão ETSI [18].

**Limiar:** A decisão de mudar um fluxo de uma interface para outra é realizada através de um único limiar para cada variável, ou seja, um limiar para a perda de pacote, um limiar para vazão e um limiar para o atraso dos pacotes. Quando o nó percebe que um desses valores está passando o seu limiar, o mecanismo realiza a troca do fluxo que foi detectado com excesso para outra interface que atenda aos requisitos da aplicação.

**Lógica Fuzzy (Dhar e colaboradores):** A decisão de realizar uma mudança de um fluxo de uma interface ocorre através de inferências *fuzzy*. Para a criação desse cenário nos baseamos no trabalho de Dhar e colaboradores [54] utilizando somente 3 classificações de saída. Nesse cenário também utilizamos os números triangulares *fuzzy*, com as faixas das variáveis *fuzzy* de baixo, médio e alto.

**Teoria dos jogos:** Em um jogo, cada participante possui um conjunto de estratégias que podem ser usadas. Quando cada jogador escolhe qual será a sua estratégia, obtemos um perfil, ou seja, um espaço que contém todas as possíveis situações que podem ocorrer. Cada jogador tem interesses ou preferências para cada situação no jogo. Em termos matemáticos, cada jogador tem uma *função utilidade* que atribui um número real (o ganho, ou *payoff*, do jogador) a cada situação desse jogo.

Mais especificamente, um jogo tem os seguintes elementos básicos: um conjunto finito de jogadores, representado por  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ , onde cada jogador  $g_i \in G$

possui um conjunto finito  $S_i = \{s_{1i}, s_{2i}, \dots, s_{m_i i}\}$  de opções, denominadas estratégias do jogador  $g_i (m_i \geq 2)$ , onde, portanto, o jogador  $g_i$  possui  $m_i$  estratégias. Um vetor  $Pe = (s_{k_1 1}, s_{k_2 2}, \dots, s_{k_n n})$ , onde  $s_{K_i i} \in S_i$  é uma estratégia escolhida pelo jogador  $g_i \in G$ , é denominado um perfil de estratégia. O conjunto de todos os perfis de estratégia forma o produto cartesiano:

$$\prod_{i=1}^n S_i = S_1 * S_2 * \dots * S_n,$$

denominado espaço de estratégia do jogo. Para jogadores  $g_i \in G$ , existe uma função utilidade

$$u_i : S \rightarrow \mathbb{R}$$

$$s_i \rightarrow u_i(s)$$

que associa o ganho (*payoff*)  $u_i(s)$  do jogador  $g_1$  a cada perfil de estratégia  $s \in S$ .

A política de comparação que utiliza teoria de jogos é baseada no dilema do prisioneiro. Temos 3 jogadores (os 3 fluxos de dados: segurança, conforto e usuário) e temos duas estratégias para cada jogador, ou seja, cada estratégia seleciona uma das interfaces de rede que o usuário possui. Supomos que um fluxo pode selecionar apenas uma interface a cada rodada. Assim temos:  $G = \{g_1, g_2, g_3\}$ ;  $S_1 = \{s_{11}; s_{12}\}$ ;  $S_2 = \{s_{21}; s_{22}\}$ ;  $S_3 = \{s_{31}; s_{32}\}$ . A cada estratégia do jogador é atribuído um *payoff*. Para o cálculo do *payoff*, utilizamos a função de satisfação considerando os requisitos mínimos da rede, ou seja, a porcentagem que uma determinada tecnologia de rede está atendendo num determinado fluxo.

$$Payoff = \sum_{i=1}^3 w_i * \text{parâmetro}$$

O *payoff* de cada estratégia consiste na média normalizada dos parâmetros da rede tais como atraso, vazão e perda de pacotes. Os pesos  $w_i, 1 \leq i \leq 3$ , variam no que diz respeito aos parâmetros e são calculados com base no desempenho da rede, utilizando o trabalho [11].

Comparamos as três políticas descritas anteriormente (limiar, lógica fuzzy, teoria de jogos) com a nossa proposta. A Figura 5.26 apresenta a média dos tempos de *handoff*. Analisando a Figura 5.26(a) podemos observar que quanto maior a velocidade do veículo maior será o tempo de *handoff*. Isso ocorre devido ao aumento do número de ocorrências de *handoff*. Observando os pontos com as velocidades entre 10m/s e 25m/s, todos os cenários tiveram um aumento significativo em seu tempo médio de *handoff*. A política proposta evitou uma precipitação em trocar a interface de um determinado fluxo para outra interface, apresentando melhor desempenho. Analisando o mapa real com 30 veículos, a política *limiar* teve 32 *handoffs* a mais que a política proposta. Já a política da *teoria dos jogos* teve 26 *handoffs* a mais que a política proposta, enquanto a política *fuzzy* fez 10

*handoffs* a mais que a proposta. Comparando o mapa real com o Manhattan com 30 nós e com uma velocidade de 15 m/s, que é a velocidade que se aproxima da velocidade dos veículos do mapa real, a política proposta teve uma redução de 20% no tempo de *handoff* comparado com o mapa Manhattan, com a proposta mantendo um desempenho melhor que as outras políticas.

Podemos observar na Figura 5.27 que a política proposta teve uma menor perda de pacotes em ambos os mapas, devido a um baixo número de *handoffs* e também por melhor distribuir os fluxos entre as interfaces. A política proposta obteve uma redução total de 18% a 38% comparada às outras políticas. Considerando 50 veículos e uma velocidade de 15 m/s, a política proposta obteve uma redução de 25% nos cenários no mapa do Manhattan e uma redução de 22% no mapa real. As taxas de perda de pacote não tiveram um impacto relevante na vazão da rede como mostra a Figura 5.28. Para o mapa Manhattan também não observamos impacto na vazão da rede.

A Figura 5.29 apresenta a média de atraso de todas as aplicações. Na Figura 5.29(a) observamos que a política proposta forneceu uma redução de 6% no atraso de envio da mensagem comparada com a política *fuzzy* e uma redução de 11% comparada com a política *limiar* quando analisamos o gráfico com 10 veículos e com uma velocidade de 10 m/s. Na Figura 5.29(b), quando há 20 carros participando, a política proposta reduziu o tempo de atraso em 5% comparado à política *limiar*. Além disso, a proposta ofereceu uma redução de 67% sobre todos os cenários no gráfico 5.29(b). A política proposta manteve todos os atrasos por aplicação dentro de um tempo aceitável, como podemos ver na Figura 5.30.

As simulações mostraram que tanto para o mapa real como para o Manhattan o atraso de todas as aplicações ficaram abaixo do padrão estabelecido pelo ETSI.

No geral, os resultados da simulação sugerem que a política proposta possui um bom desempenho em redes veiculares. A política proposta conseguiu uma melhoria média de 34% na perda de pacotes e de 2.8% no atraso no mapa real, enquanto para o mapa Manhattan esses números atingiram 27% e 4.95%, respectivamente. A política proposta apresentou uma baixa perda de pacotes, mantendo uma boa vazão na rede e também um baixo atraso na entrega dos pacotes, não excedendo os padrões estabelecidos pelo ETSI. Portanto os mecanismos que utilizaram a lógica *fuzzy* atenderam melhor as necessidades da arquitetura, garantindo um bom uso de múltiplas interfaces de rede simultaneamente.

### 5.3.3 Considerações Finais

A proposta da arquitetura de gerenciamento de mobilidade de fluxo (SFMMA) trata com diferentes interfaces de rede, ao mesmo tempo, buscando maximizar a vazão da rede, diminuir o tempo de *handoff*, e satisfazer os requisitos mínimos de latência e perda de

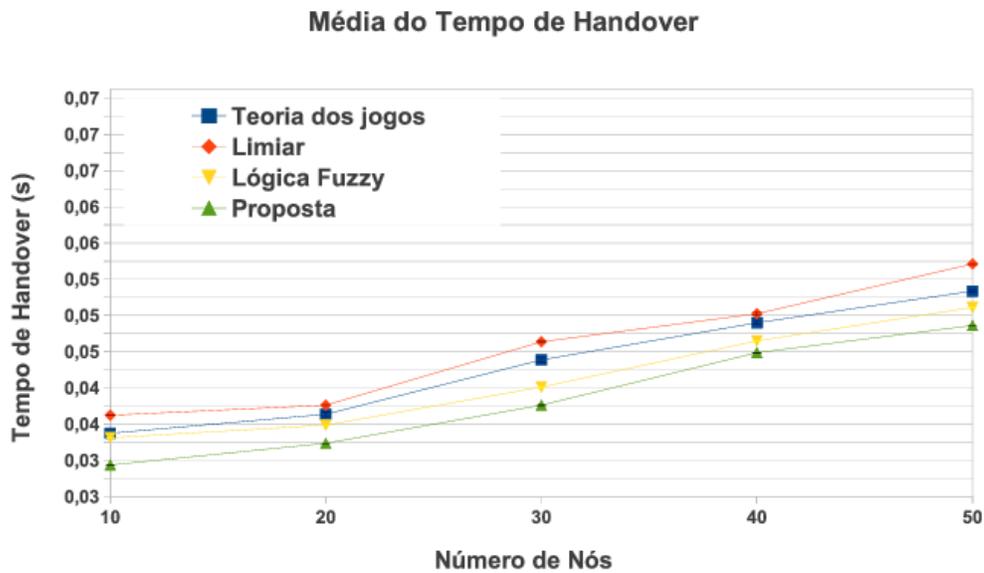
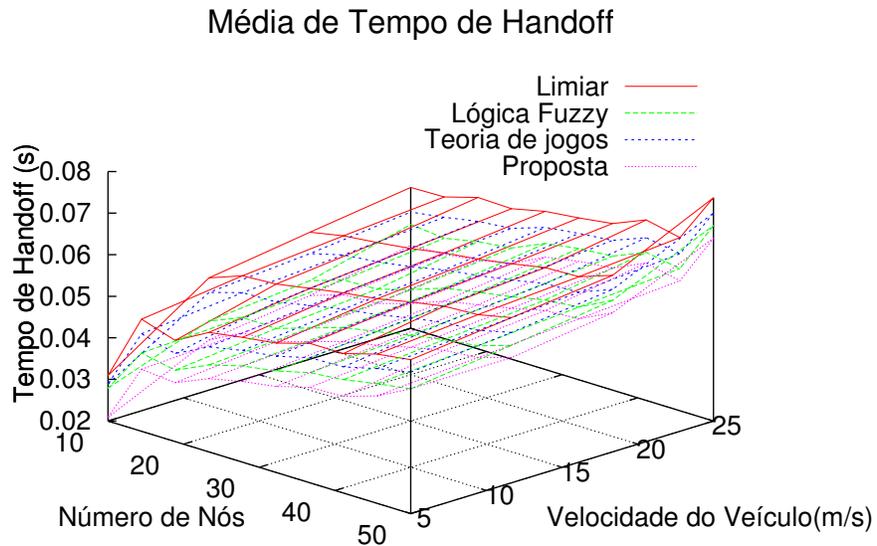
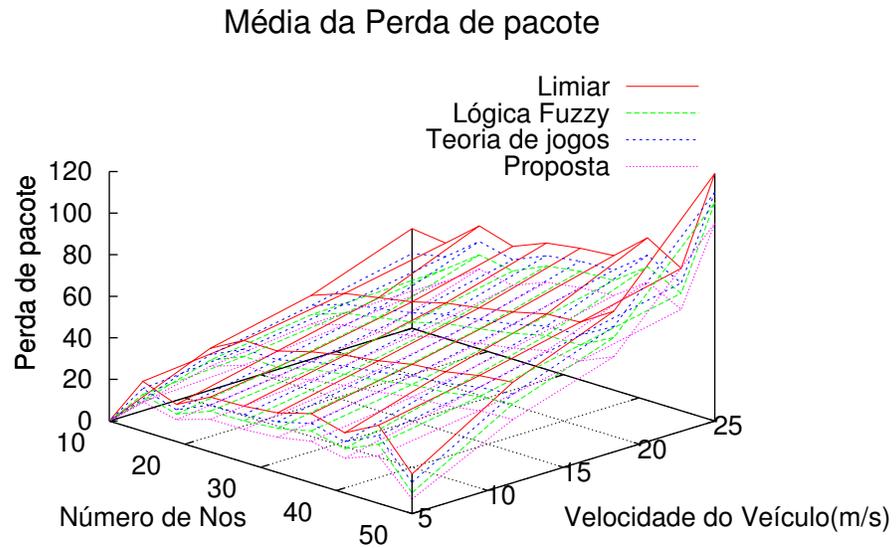
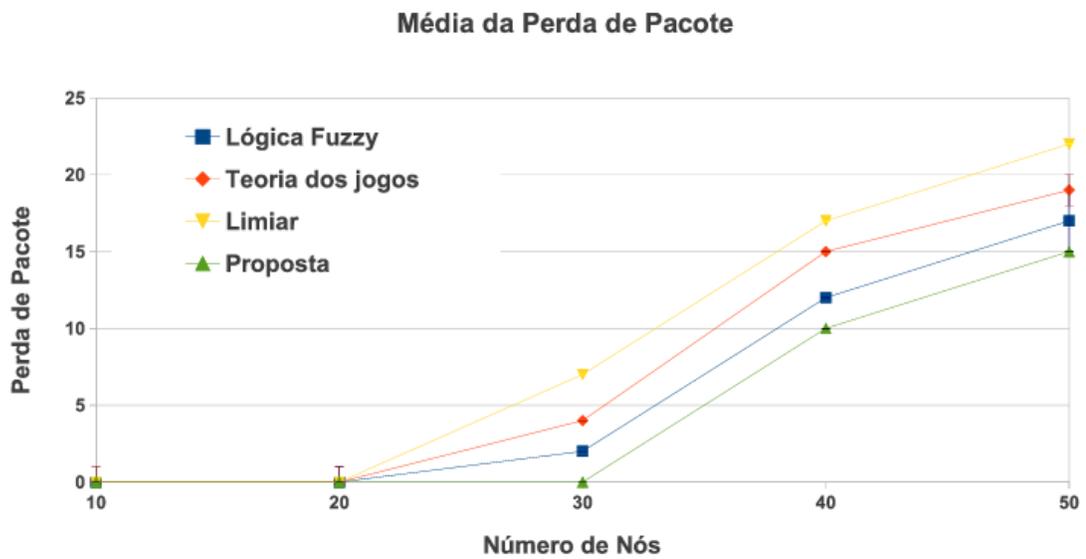


Figura 5.26: Média do Tempo de *handoff* do mecanismo de decisão de *handoff*.



(a) Mobilidade mapa Manhattan



(b) Mobilidade mapa real.

Figura 5.27: Média da perda de pacotes do mecanismo de decisão de *handoff*.

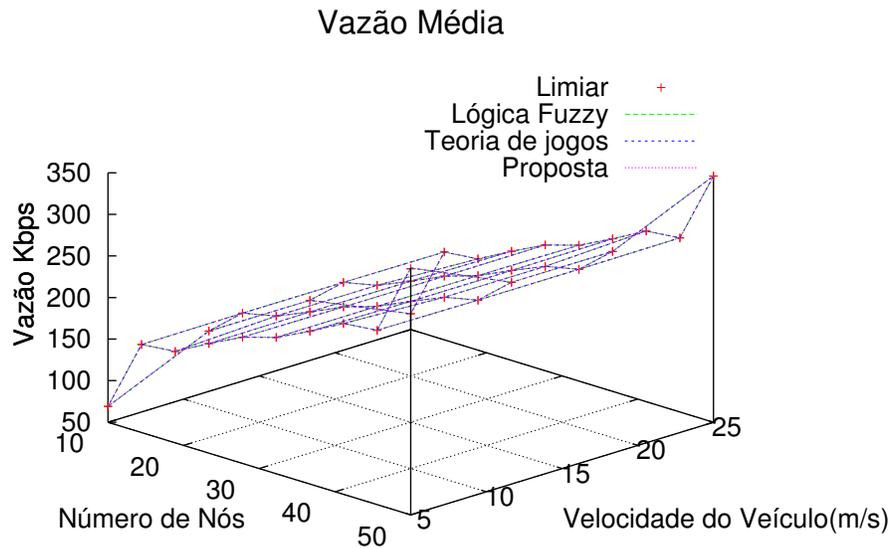
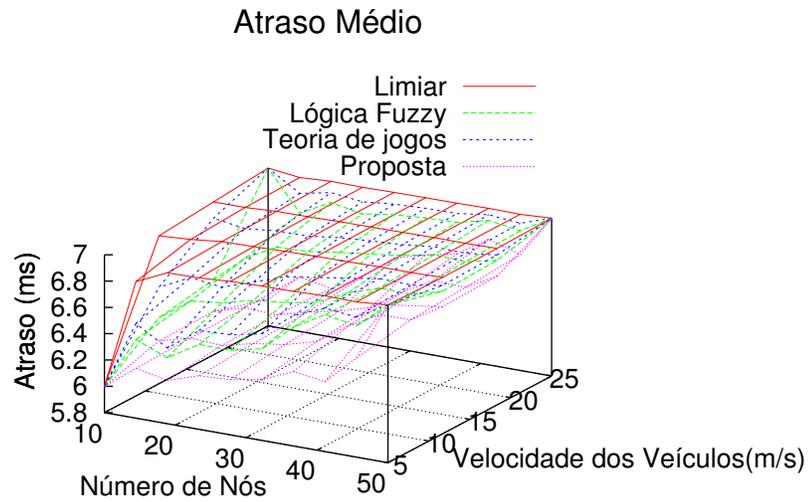


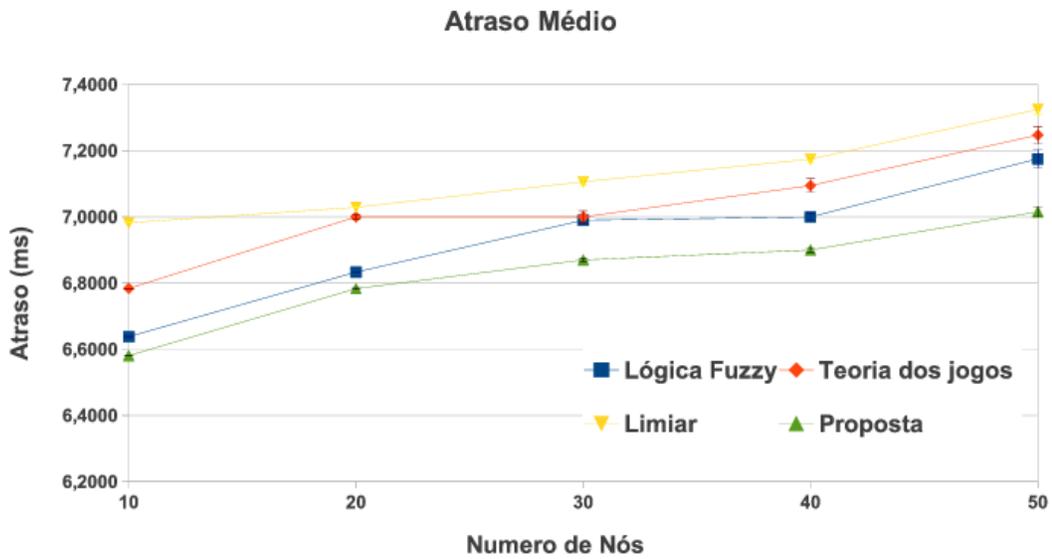
Figura 5.28: Vazão da rede no mapa do Manhattan do mecanismo de decisão de *handoff*.

pacotes para cada classe de aplicação da rede veicular. A arquitetura apresentou um bom desempenho, diminuindo o tempo de *handoff*, diminuindo o tempo do atraso e a perda de pacotes, mantendo assim a vazão da rede, esse resultado foi obtido através das características de cada módulo.

A extensão do protocolo 802.21 permitiu não só a obtenção do estado da rede e dos fluxos, mas também permitiu um balanceamento mais uniforme do uso das tecnologias de redes, devido às informações capturadas pelo 802.21, e com isso o mecanismo de seleção de enlace pôde tomar a melhor decisão no momento de se realizar o *handoff*. O uso de mais de uma tecnologia de rede simultaneamente e juntamente com um escalonador de pacote que direcionava os pacotes para as interfaces corretas, possibilitando um aproveitamento do uso de ambas às interfaces simultaneamente, obteve assim maior vazão. Para auxiliar no deslocamento dos fluxos das mensagens entre as interfaces de rede, o protocolo PMIPv6 teve um papel importante pois proporcionou uma melhor distribuição de carga entre as interfaces, alcançando assim taxas baixas de perda de pacotes e atrasos menores. O controle de fluxo com base nas classes de aplicação evitou a sobrecarga de pacotes em uma única tecnologia de rede, reduzindo assim o tempo de entrega das mensagens e o número de pacotes perdidos. Embora seja difícil afirmar qual é o melhor mecanismo de decisão de troca de interface para um determinado fluxo, o uso da lógica *fuzzy* com mais de três classificações para a saída *fuzzy* permitiu uma melhor decisão no momento da



(a) Mobilidade mapa Manhattan.



(b) Mobilidade mapa real

Figura 5.29: Média do atraso do mecanismo de decisão de *handoff*.

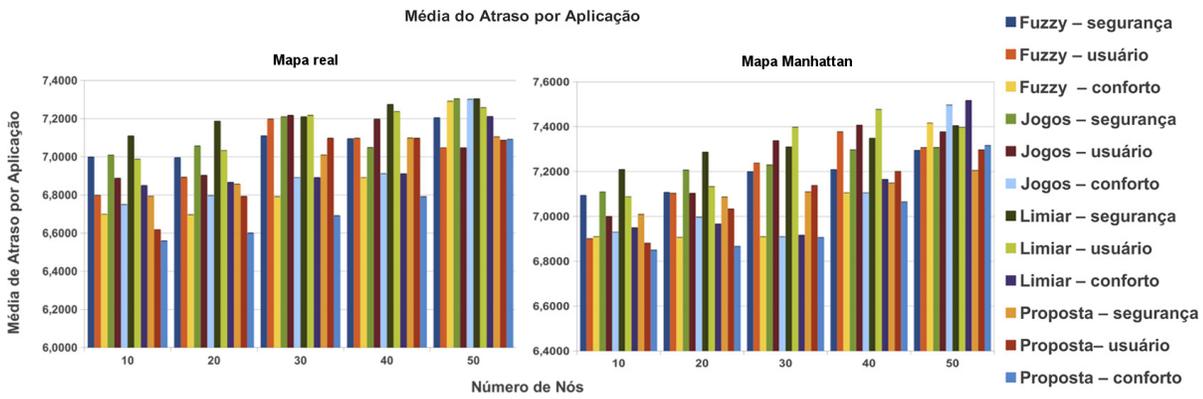


Figura 5.30: Média do atraso por Aplicação do mecanismo de decisão de *handoff*.

escolha da troca do fluxo, evitando uma troca precipitada de interface e diminuindo a quantidade de *handoffs* realizados na rede.

# Capítulo 6

## Conclusão

As redes veiculares serão um grande passo para a realização de sistemas de transporte inteligentes. Atualmente um número crescente de fabricantes está munindo veículos com computadores de bordo, dispositivos de comunicação sem fio, sensores e sistemas de navegação em preparação para a implantação de redes veiculares de grande escala. Por meio de diferentes sensores, câmeras, computadores, GPS e recursos de comunicação, os veículos podem recolher e interpretar informações com o propósito de ajudar o motorista a tomar decisões. As aplicações potenciais preveem coletar informações em tempo real sobre o tráfego, as condições das estradas, a proximidade de outros veículos, e assim por diante. Estas aplicações vão desde advertência de segurança e sistemas anticolidões até estações meteorológicas e rodoviárias. Uma forma de classificar as aplicações das redes veiculares é dividir essas aplicações em duas categorias principais [8] : *seguras* e *não seguras*. Aplicações *seguras* compreendem a segurança pública, gestão de tráfego, de coordenação de tráfego e de assistência ao condutor. As aplicações *não seguras* incluem suporte de informações de viagem e conforto, além disso envolvem aplicações que visam o entretenimento dos passageiros, que incluem jogos, troca de informações multimídia, entre outras.

Para oferecer um tratamento personalizado às diversas aplicações da rede veicular e oferecer um gerenciamento nos fluxos de pacotes, dividimos as aplicações em três classes de aplicação buscando com isso atender os requisitos mínimos de cada classe de aplicação. Além disso, essa divisão facilita a distribuição dos fluxos de mensagem dessas classes de aplicação entre várias interfaces de rede ativas simultaneamente. O uso de mais de uma interface simultânea fornece uma maior vazão no fluxo de informação das aplicações. Algumas das aplicações das redes veiculares precisam estar conectadas com a internet através de um ponto de acesso que encontra-se no acostamento, como uma torre celular ou uma torre *WiFi*. Essa conexão poderá gerar um *overhead* de mensagens de controle e também sofrer uma troca de ponto de acesso, o que pode impactar no desempenho da

aplicação. Para auxiliar na conexão entre o ponto de acesso e o nó móvel e em uma possível troca entre os pontos de acesso, o protocolo 802.21 oferece mecanismos para a realização do *handoff*, bem como o monitoramento do estado da rede. Esse protocolo é utilizado em redes heterogêneas para o gerenciamento de mobilidade. Entretanto, o protocolo 802.21 não oferece nenhum mecanismo para o controle de diversos fluxos simultaneamente. Para oferecer esse serviço de gerenciamento, nós estendemos o protocolo 802.21 para não somente monitorar diversas interfaces simultaneamente, mas também oferecer um gerenciamento dos fluxos de mensagens das classes de aplicação das redes veiculares entre diversas tecnologias de rede.

Esta tese explora o uso de mais de uma tecnologia de rede, com objetivo de maximizar a qualidade de serviço para aplicações em redes veiculares. Para isso foi desenvolvida uma arquitetura de gerenciamento de mobilidade de fluxo (SFMMA) que trata com diferentes interfaces de rede, ao mesmo tempo, buscando maximizar a vazão da rede, diminuir o tempo de *handoff*, e satisfazer os requisitos mínimos de latência e perda de pacotes para cada classe de aplicação da rede veicular. A arquitetura apresentou um bom desempenho, diminuindo o tempo de *handoff*, diminuindo o tempo do atraso e a perda de pacotes, mantendo assim a vazão da rede, observando os resultados obtidos em cada módulo da arquitetura. Para obter esses resultados, estendemos o protocolo 802.21, o que permitiu não só a obtenção do estado da rede e dos fluxos, mas também um balanceamento mais uniforme do uso das tecnologias de rede devido às informações capturadas pelo 802.21. Como consequência, a arquitetura proposta foi capaz de tomar uma melhor decisão no momento de se realizar o *handoff*.

O uso de mais de uma tecnologia de rede simultaneamente, em conjunto com um escalonador de pacote que direciona os pacotes para as interfaces corretas, possibilitou um aproveitamento do uso de ambas as interfaces simultaneamente, obtendo assim maior vazão. Para auxiliar no deslocamento dos fluxos das mensagens entre as interfaces de rede, o protocolo PMIPv6 teve um papel importante pois proporcionou uma melhor distribuição de carga entre as interfaces, alcançando assim taxas de perda de pacotes baixas e atrasos menores. O controle de fluxo com base nas classes de aplicação evitou a sobrecarga de pacotes em uma única tecnologia de rede, reduzindo assim o tempo de entrega das mensagens e o número de pacotes perdidos. O uso da lógica *fuzzy* com mais de três classificações para a saída *fuzzy* permitiu uma melhor decisão no momento da escolha da troca do fluxo, evitando uma troca precipitada de interface e diminuindo a quantidade de *handoffs* realizados na rede. Os resultados obtidos por essa arquitetura desmonstram que o uso de mais de uma interface ativa simultaneamente promoveu o melhor uso das tecnologias de rede, com isso, comprovando a hipótese dessa tese.

Como contribuições obtidas nesse trabalho podemos citar:

- Detalhamento do estado da arte em algoritmos para o gerenciamento de mobilidade

focando no protocolo 802.21, em algoritmos para o escalonamento de envio de pacotes para múltiplas interfaces, algoritmos de gerenciamento de mobilidade de fluxo e políticas de decisão para *handoff*;

- Proposta de uma arquitetura para o gerenciamento da mobilidade do fluxo em múltiplas interfaces de rede, o *Seamless Flow Mobility Management Architecture* (SFMMA) [42], uma arquitetura que realiza o gerenciamento dos fluxos das aplicações em mais de uma interface de rede simultaneamente;
- Proposta do componente da arquitetura que avalia a importância do uso do protocolo 802.21 no gerenciamento de mobilidade em redes heterogêneas [39] [37], utilizando o *Network Simulador*, tanto na versão 2 (NS-2) quanto na versão 3 (NS-3);
- Proposta de outro componente da arquitetura que tem como objetivo o mapeamento das aplicações das redes veiculares em 3 fluxos de dados para mais de uma interface de rede ativa simultaneamente, o *Multi-Network Packet Scheduling* [41], que realiza o escalonamento das mensagens em múltiplas interfaces de redes; e
- Proposta de novas políticas de decisão de *handoff* baseadas em lógica *Fuzzy* [38], para o melhoramento do desempenho da arquitetura.

Como trabalho futuro, pode-se:

- Avaliar a arquitetura em novos cenários para verificar quesitos de escalabilidade, *overhead* e interoperabilidade com outros domínios;
- Desenvolver novos mecanismos de decisão de handover com o objetivo de diminuir ainda mais o tempo de *handoff*;
- Desenvolver novos protocolos para a realização da abstração do estado dos fluxos das classes de aplicação da rede veicular;
- Desenvolver novos métodos para o processo de troca de fluxo, pois embora tenha-se alcançado um baixo tempo de *handoff*, há muitas mensagens de controle para a realização do *handoff*; e
- Estender esta arquitetura para que ela possa não só dar suporte a mobilidade e troca de informações entre veículos e uma infraestrutura de acostamento, mas também dar este suporte num ambientes só com veículos.



# Referências Bibliográficas

- [1] BonnMotion - a mobility scenario generation and analysis tool. Disponível em: <http://net.cs.uni-bonn.de/wg/cs/applications/bonnmotion/>. Acessado em 2013.
- [2] OpenStreetMap - the wiki of free maps. Disponível em: <http://www.openstreetmap.org/>. Acessado em 2013.
- [3] O.B. Akan e I.F. Akyildiz. ATL: an adaptive transport layer suite for next-generation wireless internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(5):802–817.
- [4] I.F. Akyildiz, Jiang Xie, e S. Mohanty. A survey of mobility management in next-generation all-ip-based wireless systems. *IEEE Wireless Communications*, 11(4):16–28.
- [5] H. Al-Zubaidy, Changcheng Huang, e J. Yan. Most balancing algorithms for optimal packet scheduling in multi-server wireless systems. Em *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE*, páginas 671 –676.
- [6] S. Allal e S. Boudjit. Geocast routing protocols for vanets: Survey and guidelines. Em *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)*, páginas 323–328.
- [7] G. Araniti, C. Campolo, M. Condoluci, A. Iera, e A. Molinaro. LTE for vehicular networking: a survey. *Communications Magazine, IEEE*, 51(5).
- [8] Mojtaba Asgari, Kasmiran Jumari, e Mahamod Ismail. Analysis of routing protocols in vehicular ad hoc network applications. Em *Software Engineering and Computer Systems*, volume 181, páginas 384–397. Springer Berlin Heidelberg.
- [9] Carlos J. Bernardos. Proxy mobile IPv6 extensions to support flow mobility. draft-ietf-netext-pmipv6-flowmob-03.
- [10] Carlos J. Bernardos, Maria Calderon, e Ignacio Soto. PMIPv6 and network mobility problem statement. draft-bernardos-netext-pmipv6-nemo-ps-02.

- [11] Dimitris Charilas, Ourania Markaki, Dimitris Nikitopoulos, e Michael Theologou. Packet-switched network selection with the highest QoS in 4G networks. *Computer Networks*, 52(1):248 – 258.
- [12] Wai Chen, Ratul K. Guha, Taek Jin Kwon, John Lee, e Yuan-Ying Hsu. A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad hoc networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 11(7):787–795.
- [13] Kuan-Lin Chiu, Ren-Hung Hwang, e Yuh-Shyan Chen. Cross-layer design vehicle-aided handover scheme in VANETs. *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, 11(7):916–928.
- [14] Hyon-Young Choi, Sung-Gi Min, e Youn-Hee Han. PMIPv6-based flow mobility simulation in NS-3. Em *2011 Fifth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)*, páginas 475 –480.
- [15] Hyon-Young Choi, Sung-Gi Min, Youn-Hee Han, Jungsoo Park, e Hyoungjun Kim. Implementation and evaluation of proxy mobile IPv6 in NS-3 network simulator. Em *5th Intl. Conference on Ubiquitous Information Technologies and Applications*, páginas 1 –6.
- [16] Sourav Dhar, Amitava Ray, e Rabindranath Bera. Cognitive vertical handover engine for vehicular communication. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, páginas 1–20.
- [17] L. Eastwood, S. Migaldi, Qiaobing Xie, e V. Gupta. Mobility using IEEE 802.21 in a heterogeneous IEEE 802.16/802.11-based, IMT-advanced (4G) network. *Wireless Communications, IEEE*, 15(2):26–34.
- [18] ETSI TR 102 638. Intelligent transport systems (ITS); vehicular communications; basic set of applications; definitions.
- [19] Miad Faezipour, Mehrdad Nourani, Adnan Saeed, e Sateesh Addepalli. Progress and challenges in intelligent vehicle area networks. *Communications of the ACM*, 55(2):90–100.
- [20] Stenio Fernandes e Ahmed Karmouch. Design and analysis of an IEEE 802.21-based mobility management architecture: a context-aware approach. *Wireless Networks*, 19(2):187–205.
- [21] German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems. Simulation of urban mobility. Disponível em: <http://sumo.sourceforge.net/>. Acessado em 2013.

- [22] Sri Gundavelli, Kent Leung, Vijay Devarapalli, Kuntal Chowdhury, e Basavaraj Patil. Proxy mobile IPv6. <http://tools.ietf.org/html/rfc5213>.
- [23] Jagadeesh Kakarla e S Siva Sathya. A survey and qualitative analysis of multi-channel MAC protocols for vanet. *Journal of Computer Applications*, 38(6):38–42.
- [24] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, e T. Weil. Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 13(4):584–616.
- [25] Martin Karsten. FIFO service with differentiated queueing. Em *Proceedings of the 2011 ACM/IEEE Seventh Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems*, ANCS '11, páginas 122–133, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- [26] Omar Khattab e Omar Alani. Survey on media independent handover (MIH) approaches in heterogeneous wireless networks. *European Wireless 2013*.
- [27] Ganesh S Khekare e Apeksha V Sakhare. Intelligent traffic system for VANET: A survey. *International Journal Of Advanced Computer Research (IJACR)*, 2.
- [28] Jinho Kim, Y. Morioka, e J. Hagiwara. An optimized seamless ip flow mobility management architecture for traffic offloading. Em *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE*, páginas 229 –236.
- [29] Patrick Kirk. Gnutella protocol development. *Disponível em: <http://rfc-gnutella.sourceforge.net>*.
- [30] G. Lampropoulos, A.K. Salkintzis, e N. Passas. Media-independent handover for seamless service provision in heterogeneous networks. *IEEE Communications Magazine*, 46(1):64–71.
- [31] J.-H. Lee, T. Ernst, D.-J. Deng, e H.-C. Chao. Improved PMIPv6 handover procedure for consumer multicast traffic. *Communications, IET*, 5(15):2149 –2156.
- [32] Bin Ma e Xiaofeng Liao. Speed-adaptive vertical handoff algorithm based on fuzzy logic in vehicular heterogeneous networks. Em *9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, páginas 371–375.
- [33] C. Makaya, S. Das, e F.J. Lin. Seamless data offload and flow mobility in vehicular communications networks. Em *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE*, páginas 338 –343.

- [34] J. Marquez-Barja, C.T. Calafate, J.-C. Cano, e P. Manzoni. Machu: A novel vertical handover algorithm for vehicular environments. Em *Wireless Telecommunications Symposium (WTS), 2012*, páginas 1–8.
- [35] Francisco J. Martinez, Chai Keong Toh, Juan-Carlos Cano, Carlos T. Calafate, e Pietro Manzoni. A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs). *Wireless Communications and Mobile Computing*, 11(7):813–828.
- [36] Telemaco Melia, Carlos Bernardos, Antonio de la Oliva, Fabio Giust, e Maria Calderon. IP flow mobility in PMIPv6 based networks: Solution design and experimental evaluation. *Wireless Personal Communications*, 61:603–627. 10.1007/s11277-011-0423-3.
- [37] Rodolfo Meneguette e Edmundo Madeira. An architecture for mobility management in vehicular networks with support to collaborative virtual environments. Em *Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC 2011)*.
- [38] Rodolfo Meneguette e Edmundo Madeira. Uma política de handover de gerência de mobilidade de fluxo em lógica fuzzy. Em *Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC 2013)*.
- [39] Rodolfo I. Meneguette, Luiz F. Bittencourt, e Edmundo R. M. Madeira. User-centric mobility management architecture for vehicular networks. Em *4th International Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI 2012)*.
- [40] Rodolfo I. Meneguette e Regina Borges de Araujo. Overlay network to support collaborative virtual environments in vehicular networks. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos.
- [41] Rodolfo Ipolito Meneguette, Luiz Fernando Bittencourt, e Edmundo Madeira. Multi-network packet scheduling based on vehicular ad hoc network applications. Em *8th International Conference on Network and Service Management (CNSM 2012)*, Las Vegas, USA.
- [42] Rodolfo Ipolito Meneguette, Luiz Fernando Bittencourt, e Edmundo Roberto Mauro Madeira. A seamless flow mobility management architecture for vehicular communication networks. *Journal of Communications and Networks*, 15(2):207–216.
- [43] R. Michoud, A.M. Orozco, e G. Llano. Mobile ad-hoc routing protocols survey for the design of vanet applications. Em *IEEE Colombian Intelligent Transportation Systems Symposium (CITSS), 2012*, páginas 1–6.

- [44] L. Mohamed, C. Leghris, e A. Abdellah. A survey and comparison study on weighting algorithms for access network selection. Em *2012 9th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, páginas 35–38.
- [45] Johann Márquez-Barja, Carlos T. Calafate, Juan-Carlos Cano, e Pietro Manzoni. An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools. *Computer Communications*, 34(8):985 – 997.
- [46] N. Nasser, A. Hasswa, e H. Hassanein. Handoffs in fourth generation heterogeneous networks. *IEEE Communications Magazine*, 44(10):96–103.
- [47] Nist. National institute of standards and technology’s - disponível em: [http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm\\_tools.cfm](http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm_tools.cfm). Acessado em 2013.
- [48] I. Papapanagiotou, D. Toumpakaris, Jungwon Lee, e M. Devetsikiotis. A survey on next generation mobile wimax networks: objectives, features and technical challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 11(4):3–18.
- [49] Chandrashekhar G. Patil e Mahesh T. Kolte. An approach for optimization of handoff algorithm using fuzzy logic system. *J. of Comp. Science and Communication*, 2(1):113–118.
- [50] R. Qureshi, A. Dadej, e Qiang Fu. Issues in 802.21 mobile node controlled handovers. Em *Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference, 2007. ATNAC 2007.*, páginas 53–57.
- [51] M. Salumu. ns3 - 802.21. disponível em: <http://code.nsnam.org/salumu/ns-3-mih/>. Acessado em 2013.
- [52] Farhan Siddiqui e Sherali Zeadally. Mobility management across hybrid wireless networks: Trends and challenges. *Computer Communications*, 29(9):1363 – 1385.
- [53] Ajit Singh, Mukesh Kumar, Rahul Rishi, e D. K. Madan. A relative study of manet and vanet: Its applications, broadcasting approaches and challenging issues. Em *Advances in Networks and Communications*, volume 132, páginas 627–632. Springer Berlin Heidelberg.
- [54] Sandeep Chakravorty Sourav Dhar, Amitava Ray e Rabindra Nath Bera. Intelligent vertical handover scheme for utopian transport scenario. *Academic Journals Inc.*
- [55] S. Tayal e M.R. Tripathy. Vanet-challenges in selection of vehicular mobility model. Em *2012 Second International Conference on Advanced Computing Communication Technologies (ACCT)*, páginas 231 –235.

- [56] George Tsirtsis, Hesham Soliman, Nicolas Montavont, Gerardo Giaretta, e Koojana Kuladinithi. Flow bindings in mobile IPv6 and network mobility (NEMO) basic support. IETF RFC 6089.
- [57] Margaret Wasserman e Pierrick Seite. Current practices for multiple-interface hosts. IETF RFC 6419.
- [58] W. Zhang, A. Festag, R. Baldessari, e L. Le. Congestion control for safety messages in VANETs: Concepts and framework. Em *8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008. ITST 2008.*, páginas 199 –203.
- [59] GhayetElMouna Zhioua, Houda Labiod, Nabil Tabbane, e Sami Tabbane. LTE advanced relaying standard: A survey. *Wireless Personal Communications*, páginas 1–19.