

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

**UM PROTOCOLO DE ROTEAMENTO COLABORATIVO PARA  
TRANSMISSÃO DE VÍDEO COM COMPUTAÇÃO EM NÉVOA EM REDES  
AD HOC VEICULARES**

**PAULO HENRIQUE GONÇALVES BEZERRA**

**TD 04/2019**

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
**2019**



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

**PAULO HENRIQUE GONÇALVES BEZERRA**

**UM PROTOCOLO DE ROTEAMENTO COLABORATIVO PARA  
TRANSMISSÃO DE VÍDEO COM COMPUTAÇÃO EM NÉVOA EM REDES  
AD HOC VEICULARES**

**TD 04/2019**

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
**2019**

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

**PAULO HENRIQUE GONÇALVES BEZERRA**

**UM PROTOCOLO DE ROTEAMENTO COLABORATIVO PARA  
TRANSMISSÃO DE VÍDEO COM COMPUTAÇÃO EM NÉVOA EM REDES  
AD HOC VEICULARES**

Tese de Doutorado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Elétrica na Área de Computação Aplicada.

UFPA / ITEC / PPGEE  
Campus Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
**2019**

Dados Internacionais de Catalogação - na – Publicação (CIP) Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

B574p Bezerra, Paulo Henrique Gonçalves, 1974-

Um Protocolo de roteamento colaborativo para transmissão de vídeo com computação em névoa em redes ad hoc veiculares / Paulo Henrique Gonçalves Bezerra.-2019.

Orientador: Dênis Lima do Rosário  
Coorientador: Eduardo Coelho Cerqueira  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Belém, 2019.

1. Telecomunicações – Tráfego – Simulação por computador. . 2. Protocolos de comunicação. 3. Sistemas inteligente de veículos rodoviários. 4. Redes ad hoc (Redes de computadores) - Medidas de segurança. I. Título.

CDD 23. ed. 621.382

---

Elaborada por Lucicléa S. de Oliveira – CRB -2/648

**“UM PROTOCOLO DE ROTEAMENTO COLABORATIVO PARA  
TRANSMISSÃO DE VÍDEOS COM COMPUTAÇÃO EM NÉVOA EM  
REDES AD HOC VEICULARES”**

**AUTOR: PAULO HENRIQUE GONÇALVES BEZERRA**

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

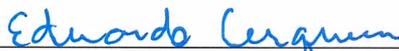
APROVADA EM: 22/03/2019

**BANCA EXAMINADORA:**



---

**Prof. Dr. Denis Lima do Rosário**  
(Orientador – PPGEE/UFPA)



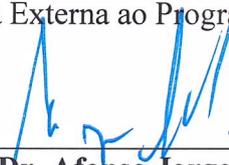
---

**Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira**  
(Co-Orientador – PPGEE/UFPA)



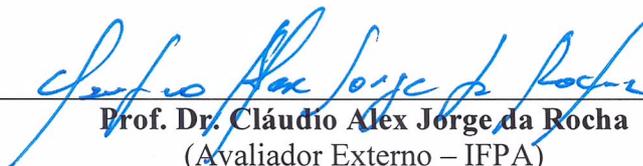
---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Thais Lira Tavares dos Santos**  
(Avaliadora Externa ao Programa – GERCOM/UFPA)



---

**Prof. Dr. Afonso Jorge Ferreira Cardoso**  
(Avaliador Externo – EMBRAPA)



---

**Prof. Dr. Cláudio Alex Jorge da Rocha**  
(Avaliador Externo – IFPA)

**VISTO:**

---

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

*“ Se o mundo é mesmo parecido com o que vejo, prefiro acreditar no mundo do meu jeito.”*

(Renato Russo)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte de vida, conhecimento e inspiração, pelas oportunidades recebidas.

A minha família Alethea, Juliana e Ana Paula. Pela ajuda e companheirismo durante os momentos difíceis da vida e desta caminhada.

Aos meus pais, Pedro e Graça, por todo apoio para conclusão desta etapa tão importante para a minha vida profissional.

As minhas irmãs Patrícia e Priscila e a todos meus familiares. Em especial as minhas sobrinhas Ana Beatriz, Ana Luiza e Ana Laura;

Ao Professor e amigo Denis Lima do Rosário. Sua amizade, experiência, conhecimento e orientação foram de grande importância na reta final desta tese.

Ao Professor e amigo Eduardo Coelho Cerqueira. Sua amizade, experiência, conhecimento e orientação foram de grande importância durante a elaboração desta tese.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Redes de Computadores (GERCOM) e por todo os momentos vividos no laboratório do CEAMAZON e ENGCAMP. Em especial aos amigos Allan e Adalberto.

Agradeço em especial aos meus alunos Tadeu, Igor e Renan, que contribuíram em etapas importantes para a conclusão desta tese.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de ingresso ao programa.

Obrigado a todos que acreditaram e torceram para a realização deste sonho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	17
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	20
1.3 HIPÓTESE .....	21
1.4 OBJETIVOS .....	22
1.4.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	22
1.4.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	23
1.5 METODOLOGIA .....	24
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	24
1.6 PUBLICAÇÕES .....	25
<b>CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1 REDES VEICULARES .....	26
2.1.1 <b>Comunicação V2X</b> .....	26
2.1.2 <b>Aplicações de Redes Veiculares</b> .....	29
2.1.2.1 <b>Segurança no Trânsito</b> .....	30
2.1.2.2 <b>Entretenimento</b> .....	30
2.1.2.3 <b>Assistência ao Motorista</b> .....	31
2.1.3 <b>Arquitetura IEEE 802.11p</b> .....	32
2.2 REDES LTE 4G .....	34
2.2.1 <b>Arquitetura</b> .....	34
2.2.2 <b>Estação Base</b> .....	35

2.2.3 <b>Interface X2</b> .....	36
2.3 COMPUTAÇÃO EM NÉVOA .....	37
2.3.1 <b>Arquitetura</b> .....	39
2.3.2 <b>Redes de Veículos Conectados</b> .....	41
2.4 TRANSMISSÃO DE VÍDEOS .....	42
2.5 TÉCNICA DE FORMAÇÃO DE <i>CLUSTER</i> .....	44
2.5.1 <b>Agrupamento com Reconhecimento de Destino e Interesse</b> .....	44
2.5.2 <b>Cluster Dinâmico Baseado em Compartilhamento de Dados</b> .....	45
2.6 QUALIDADE DE SERVIÇO .....	45
2.7 QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA .....	47
2.7.1 <b>Índice de Similaridade Estrutural</b> .....	48
2.7.2 <b>Medição de Qualidade de Vídeo</b> .....	49
2.8 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	50
<b>CAPÍTULO 3 – TRABALHOS RELACIONADOS</b> .....	<b>51</b>
3.1 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTOS BASEADOS EM CLUSTER .....	52
3.1.1 <b>Protocolo de Roteamento Passivo para Agrupamento em Redes Veiculares</b> ...	52
3.1.1.1 Grau do Nó .....	52
3.1.1.2 Contagem de Transmissão Esperada .....	53
3.1.1.3 Tempo de Vida do <i>Link</i> .....	53
3.1.1.4 Cálculo de Prioridade .....	53
3.1.2 <b>Protocolo de Roteamento de Seleção Inteligente</b> .....	54
3.1.2.1 Transmissão Seletiva Confiável .....	54
3.2 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	55
<b>CAPÍTULO 4 – PROTOCOLO CRPV</b> .....	<b>56</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	56
4.2 GATEWAY COLABORATIVO .....	58

4.3 O ALGORITMO DO PROTOCOLO CRPV .....	58
4.3.1 <b>Formação do Cluster</b> .....	60
4.3.2 <b>Ângulo de Gravação</b> .....	62
4.3.3 <b>Velocidade dos Veículos</b> .....	64
4.3.4 <b>Localização dos Veículos</b> .....	65
4.3.5 <b>Cálculo do GQI</b> .....	66
4.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	69
<b>CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO CRPV</b> .....	<b>70</b>
5.1 METODOLOGIA .....	70
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	77
5.2.1 <b>Taxa de Entrega de Pacotes</b> .....	78
5.2.2 <b>Atraso</b> .....	80
5.3.3 <b>Vazão</b> .....	83
5.3.4 <b>SSIM</b> .....	84
5.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	87
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO</b> .....	<b>88</b>
6.1 TRABALHOS FUTUROS .....	89
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>91</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Comunicação V2V .....	27
Figura 2.2 Comunicação V2I.....	27
Figura 2.3 Comunicação V2V2I Híbrida.....	28
Figura 2.4 Comunicação V2I2V através de RSUs interligadas.....	28
Figura 2.5 Arquitetura IEEE 802.11p WAVE.....	32
Figura 2.6 Arquitetura de Acesso das Redes LTE.....	38
Figura 2.7 Arquitetura da Computação em Névoa .....	40
Figura 2.8 Degradação do Vídeo .....	43
Figura 2.9 Degradação do Vídeo e Relação com QoE .....	47
Figura 4.1 Comunicação V2V e V2I com VFC.....	57
Figura 4.2 Lógica do Algoritmo do Protocolo CRPV.....	58
Figura 4.3 Diagrama do Algoritmo do Protocolo CRPV.....	59
Figura 4.4 Ângulo de Gravação.....	62
Figura 4.5 Região de Interesse.....	62
Figura 4.6 Região de Interesse Central.....	63
Figura 4.7 Região de Interesse por Faixa de Pista.....	63
Figura 4.8 Área de cobertura de uma eNB .....	65

Figura 4.9 Setores de uma Área de uma eNB.....	66
Figura 5.1 Cenário de VANET com Fog Veicular .....	71
Figura 5.2 Cenário de Comunicação V2I com Fog .....	72
Figura 5.3 Arquitetura do Cenário de Computação em Névoa em VANETs.....	77
Figura 5.4 Taxa de Entrega dos protocolos CRPV, SRB e PassCAR (50 veículos) .....	78
Figura 5.5 Taxa de Entrega dos protocolos CRPV, SRB e PassCAR (100 veículos) ....	79
Figura 5.6 Taxa de Entrega dos protocolos CRPV, SRB e PassCAR (150 veículos) ....	79
Figura 5.7 Perda de Pacotes dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR no Cluster.....	80
Figura 5.8 Atraso Médio dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR (50 veículos) .....	81
Figura 5.9 Atraso Médio dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR (100 veículos) .....	81
Figura 5.10 Atraso Médio dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR (150 veículos) .....	82
Figura 5.11 Atraso dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR no Cluster .....	82
Figura 5.12 Vazão (50 veículos).....	83
Figura 5.13 Vazão (150 veículos).....	83
Figura 5.14 Taxa de Vazão dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR no Cluster .....	84
Figura 5.15 SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 50 veículos .....	85
Figura 5.16 SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 100 veículos .....	85
Figura 5.17 SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 150 veículos .....	86
Figura 5.18 SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR 50, 100 e 150 veículos ..	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Degradação do Vídeo e Relação com QoE.....	47
Tabela 3.1 Características dos Protocolos de Roteamento Baseados em <i>Cluster</i> .....	55
Tabela 4.1 Especificação da Camada Física do Padrão IEEE 802.11p .....	60
Tabela 4.2 Equivalência de Priorização de Mensagens em VANETs .....	61
Tabela 4.3 Parâmetro Específico de Mensagens em VANETs .....	61
Tabela 4.4 Parâmetros de Prioridade da Região de Interesse .....	64
Tabela 4.5 Parâmetros de Prioridade da Velocidade .....	65
Tabela 4.6 Parâmetros de Prioridade da Localização por Setor .....	66
Tabela 4.7 Estudo do Benchmark do Vídeo, Velocidade e Localização .....	67
Tabela 4.8 Pesos do Parâmetros. ....	67
Tabela 5.1 Parâmetros Utilizados nas Simulações desta Tese .....	73
Tabela 5.2 Características dos Veículos .....	74
Tabela 5.3 Informações dos Veículos do <i>Cluster</i> .....	75
Tabela 5.4 Resultados do Cálculo do GQI .....	75
Tabela 5.5 Tabela de Roteamento Para Cada Veículo do <i>Cluster</i> .....	76

## LISTA DE SIGLAS

3G - 3rd Generation

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

4G - 4th Generation

AC - Access Class

AIFS - Arbitration Inter-Frame Space Number

BE - Best Effort traffic

BK - Background traffic

BS - Base Station

CC - Cloud Computing

CH - Cluster Head

CRPV - Collaborative Routing Protocol for Video

CTB - Clear-to-Broadcast

DCDS - Dynamic Clustering-based Data Sharing

DCF - Distributed Coordination Function

DIAC - Destination-and Interest-Aware Clustering

EDCA - Enhanced Distributed Channel Access

ENB - E Node B

ENODEB - Evolved Node B

EPC - Evolved Packet Core

EPS - Evolved Packet System

ESVs - Emergency Service Vehicles

ETX - Embedded Technology eXtended

E-UTRAN - Evolved-Terrestrial Radio Access Network

EvalVid - Evaluation Video

FC - Fog Computer

GC - Gateway Collaborative

GPRS - General Packet Radio Services

GPS - Global Positioning System

GQI - Gateway Quality Indicator

GW - Gateway

HSPA - High Speed Packet Access

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

IIoT - Industrial Internet of Things

IoT - Internet of Things

IoV - Internet of Vehicles

IP - Internet Protocol

ITU - International Telecommunications Union

LLT - Long Lead Time

LTE - Long Term Evolution

MAC - Media Access Control

MANET - Mobile ad hoc Network

MCC - Mobile Cloud Computing

MME - Mobility Management Entity

NS - Network Simulator

OBU - On Board Unit

OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access

PASSCAR - Passive Clustering Aided Routing Protocol

P-GW - Packet Data Network Gateway

QoE - Quality of Experience

QoS - Quality of Service

RCP - Resource Command Processor

RREQ - Route Request

RSU - Road Side Units

RTB - Real-Time Bidding

SAE - System Architecture Evolution

SAE-GW - System Architecture Evolution Gateway

SCH - Service Channels

S-GW - Serving Gateway

SRB - Smart Selection Protocol for Limitation of Broadcast

SSIM - Structural Similarity Index

SUMO - Simulation of Urban MObility

TCP - Transmission Control Protocol

UDP - User Datagram Protocol

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

V2I - Vehicle to Infrastructure

V2I2V - Vehicle to Infrastructure to Vehicle

V2V - Vehicle to Vehicle

V2V2I - Vehicle to Vehicle to Infrastructure

VANET - Vehicular ad hoc Network

VFC - Vehicular Fog Computing

VQM - Video Quality Metric

WAVE - Wireless Access in a Vehicular Environment

WI-FI - Wireless Fidelity

X2 - Interface LTE

## RESUMO

Redes ad-hoc veiculares (VANETs) desempenham um papel importante na eficiência do tráfego rodoviário, melhorando a segurança e servindo como facilitador de serviços aos passageiros, motoristas e agentes de segurança pública. As recentes melhorias nos protocolos de roteamento e topologias para as redes veiculares vêm contribuindo para permitir melhor escalabilidade, confiabilidade e qualidade da experiência no compartilhamento de informações. Os veículos podem cooperar entre si para transmitir fluxos de vídeo de acidentes ou desastres e fornecer informações visuais com maior precisão da área monitorada neste contexto. Esta tese de doutorado propõe um protocolo de roteamento colaborativo para transmissão de vídeos (CRPV) com computação em névoa em redes ad hoc veiculares para transmitir vídeo. Para decisão de encaminhamento é calculado um indicador que combina os parâmetros de velocidade, localização e ângulo de gravação de cada veículo que realiza a colaboração veicular, para diminuir a troca de vídeos desnecessária na comunicação veículo para veículo. Os resultados das simulações mostram que o protocolo proposto tem um desempenho favorável quando comparados com outros protocolos de roteamento em termos de disponibilidade da comunicação fim-a-fim e Qualidade de Experiência.

**PALAVRAS-CHAVES:** Colaboração, Computação em Névoa, Qualidade de Experiência, Qualidade de Serviço, Redes Ad Hoc Veiculares, Roteamento.

## **ABSTRACT**

Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) play an important role in the efficiency of road traffic by improving safety and acting as a facilitator of services for passengers, drivers and public safety officers. Recent improvements in the routing protocols and topologies used in vehicular networks have contributed to improvements in scalability, reliability and the quality of the information-sharing experience. Vehicles can cooperate with each other to stream videos of accidents or disasters and provide visual information of the monitored area with great precision. This Ph.D thesis proposes a Collaborative Routing Protocol for Video streaming VANETs (CRPV) using the service of fog storage to minimize the sharing of content. The routing table is based on an indicator that is generated by combining the speed, location and recording angle parameters of each vehicle involved in vehicular collaboration to reduce the unnecessary exchange of video data in vehicle-to-vehicle communications. The results of the simulations show that the proposed model performs favorably when compared to other routing protocols with respect to the availability of end-to-end communication and Quality of Experience.

**KEYWORDS:** Collaboration, Content sharing, Fog computing, Quality of Experience, Quality of Service, Routing, Vehicular ad hoc networks.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

As redes veiculares (do inglês, *Vehicular Ad-Hoc Network*, VANETs) surgiram para melhorar as condições de comunicação e sinalizar situações de emergência nas estradas, como freadas bruscas, intenções de mobilidade, colisões entre outros. As mensagens de textos não representam com detalhes um evento ocorrido (acidente), o que poderia facilmente ser resolvido por um vídeo com a gravação do mesmo evento. Veículos equipados com câmera podem transmitir conteúdo de vídeo para os órgãos de segurança pública e desta forma reduzir o tempo de resgate entre a ocorrência do evento e a chegada dos agentes (EZE et al., 2016). No entanto, esses fluxos de vídeo exigem uma Qualidade de Experiência (do inglês, *Quality of Experience*, QoE) para fornecer um nível mínimo de qualidade dos vídeos transmitidos (LOBATO et al., 2017).

As VANETs podem ser divididas em três categorias de aplicação: as voltadas para segurança, que serão o foco desta tese, entretenimento e assistência ao motorista. Na categoria de aplicações para segurança, os veículos são adaptados para capturar e compartilhar recursos de vídeo de acidentes de trânsito e aplicações de vídeo para cidade inteligente, além de situação de desastres nas estradas. Um vídeo pode fornecer às autoridades de segurança pública informações com mais precisão que uma mensagem de texto e, dessa forma, permitir a ação mais adequada para cada tipo de situação, reduzindo o tempo de atendimento e/ou resgates (CUNHA et al., 2016).

As transmissões de vídeo ao longo das VANETs podem ser usadas para melhorar a eficácia da resposta dos agentes de segurança, em casos de acidentes. Um veículo em uma rodovia pode transmitir um vídeo do local do acidente e estes fluxos estariam disponíveis para os paramédicos em ambulâncias, os quais poderiam se preparar para o bom atendimento, antes mesmo de chegarem ao local. Além disso, o mesmo fluxo pode ser encaminhado para os hospitais para que os médicos possam também iniciar com antecedência, os preparativos para um pronto atendimento.

Diante de tantas limitações e possibilidades, os protocolos de roteamento para VANETs devem suprir esses desafios impostos pela alta mobilidade. No cenário proposto nesta tese a comunicação veicular apresenta desafios importantes, como alta mobilidade e tempo de paridade entre os veículos, que podem influenciar diretamente no início de uma conexão ou na transmissão de vídeo. Essa falta de comunicação fim-a-fim causa problemas de escalabilidade devido a restrições como: grandes atrasos, falta de conectividade, assimetria entre as taxas de dados, alta taxa de erros e, ainda, problemas de confiabilidade.

Do ponto de vista da camada de rede, um dos principais desafios é garantir uma comunicação eficiente e confiável entre os veículos, assim como os requisitos a Qualidade de Serviço (do inglês, *Quality of Service*, QoS) disponibilizada. Do ponto de vista da camada de aplicação, um dos principais desafios é assegurar que o conteúdo multimídia transmitido tenha uma qualidade mínima, considerando os requisitos de QoE do ponto de vista do usuário.

Para VANETs, devido à velocidade, localização, quebra dos enlaces e a falta de uma comunicação fim-a-fim entre os veículos, soluções baseadas nos protocolos de roteamento vêm sendo estudadas. Considerando a taxonomia dos protocolos de roteamento existentes para VANETs, apresentada por Sanguesa et al. (2016), os mesmos podem ser classificados com base na topologia, na localização geográfica, fusão de dados e em *clusters*.

Os protocolos de roteamento baseados em *clusters* utilizam grupos de veículos, e cada grupo tem um líder, chamado de *cluster head* (CH) que, para as VANETs, apresentam boas características para diminuir tráfego devido à sua arquitetura de agrupamento colaborativo (LATIF et al., 2018). Vários desses protocolos foram propostos na literatura, e alguns delas serão detalhados posteriormente.

As VANETs vêm integrando diversas serviços, dando origem a vários domínios de aplicação, desde segurança, entretenimento e assistência ao motorista. O desenvolvimento de um sistema de transporte inteligente e sustentável exige integração e interoperabilidade contínuas com tecnologias emergentes, como veículos conectados, Computação em Nuvem (do inglês, *Cloud Computing*) e Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things*, IoT) (GUERRERO-IBANEZ; ZEADALLY; CONTRERAS-CASTILLO, 2015). Apesar do uso crescente da Computação em Nuvem, ainda há problemas não resolvidos como

latência não confiável, falta de suporte à mobilidade e reconhecimento de localização, o que levou ao surgimento de novas tecnologias.

A Computação em Névoa, também denominada computação de borda ou nevoeiro (do inglês, *Fog Computing*), pode resolver esses problemas fornecendo recursos e serviços elásticos aos usuários finais na borda da rede, enquanto a Computação em Nuvem trata mais de fornecer recursos distribuídos na rede principal (YI; LI; LI, 2015). As aplicações para a área de segurança nas estradas, representam um grande problema para os agentes de segurança pública, partindo de um olhar mais atento sobre os acidentes é possível perceber que muitas das vítimas de acidentes de trânsito em condições médicas graves vem a óbito durante o tempo decorrido entre a ocorrência do acidente e a chegada da assistência médica (IQBAL; KHAN, 2018).

A Computação em Névoa, é uma tecnologia complementar que oferece latência reduzida e melhor personalização de aplicativos e, por isso, ganha rapidamente aplicações em segmentos como o automotivo sendo fundamental em automação veicular. Considerando os avanços técnicos e as vantagens econômicas de arquiteturas integradas entre Computação em Nuvem e Computação em Névoa, onde a névoa fornece de forma eficiente e flexível os serviços eletrônicos com garantias temporais a bordo de um veículo, que contribuirá para o próximo passo lógico no desenvolvimento de uma arquitetura eletrônica automotiva (KOPETZ; POLEDNA, 2016).

A computação móvel em nuvem (do inglês, *Mobile Cloud Computing*, MCC) é a combinação entre a computação em nuvem, a computação móvel e as redes sem fio, para trazer recursos computacionais sofisticados para usuários móveis, operadores de rede e provedores de computação em nuvem. É um novo campo de pesquisa que visa estudar agentes móveis (pessoas, veículos, robôs), para saber como eles interagem e colaboram para sentir o ambiente, processar os dados, propagar os resultados e, em geral, compartilhar recursos. No entanto, essas iniciativas estão cheias de desafios que incluem suporte à mobilidade, suporte à localização, além dos requisitos mínimos de QoS como baixa latência, entre outros requisitos (BASUDAN; LIN; SANKARANARAYANAN, 2017).

A computação em névoa adiciona uma camada entre o servidor de nuvem e o usuário final, pontos de acesso, estações base, roteadores e dispositivos móveis que podem servir como servidores na *Fog Computing*. Os dispositivos móveis podem superar alguma falta de recurso

adequando e utilizando os recursos disponíveis na *Fog Computing* e, além disso, é possível aproveitar o padrão de mobilidade já disponível nos dispositivos.

A *Fog Computing* apresenta uma nova arquitetura que “leva processamento para os dados” em vez de levar os “dados para o processamento”, como computação em nuvem. Dispositivos de borda e dispositivos móveis são interconectados dentro de uma rede de névoa local e de forma colaborativa, realizam armazenamento, processamento de dados, conectividade na rede e tarefas de controle (WANG; ALEXANDER, 2016). Além disso, a computação em névoa pode melhorar vídeos com baixo QoE e processar rapidamente adaptações e decisões de encaminhamento para nós com melhores capacidades de rede (ROSÁRIO et al., 2018).

Com o surgimento de aplicações avançadas para veículos, os desafios para atender às demandas na comunicação são cada vez mais proeminentes. Sem comunicação poderosa e suporte computacional, várias aplicações e serviços veiculares permanecerão na fase de conceito e não poderão ser colocados em prática diariamente (HOU et al., 2016). Portanto, a utilização de veículos na infraestrutura de comunicação para o avanço da Computação de Névoa Veicular (do inglês, *Vehicular Fog Computing*, VFC), além de ser uma arquitetura que utiliza uma multiplicidade colaborativa de usuários finais ou dispositivos de borda próximos ao usuário.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema de pesquisa investigado nesta tese baseia-se nas limitações das VANETs para transmissão de vídeo e na formação do *cluster* em uma arquitetura de computação em névoa. Por causa do tráfego, para transmissão de fluxo contínuo de vídeo gera grande volume de dados que devem ser transmitidos com baixa tolerância a atrasos, o que para as VANETs, é um desafio, considerando os problemas causados pela alta mobilidade dos veículos.

Partindo deste princípio, este estudo especifica as características e peculiaridade das VANETs, bem como a sua estrutura de comunicação e transmissão de vídeos. Análises de mecanismos de formação de *cluster* e suas aplicações em conjunto com algumas soluções de roteamentos, já existentes na literatura, foram estudados. Estas análises mostram resultados que esclarecem, mas que não mitigam o problema acima exposto de forma satisfatória.

Para Gerla et al. (2014), a distribuição de conteúdo em VANETs, de uma forma mais eficiente, utiliza a colaboração entre tecnologias de acesso. Nesta tese, utiliza-se o padrão 802.11p e *Long Term Evolution* (LTE), também conhecida como tecnologia móvel de quarta geração (4G), esta última sendo a infraestrutura em uma comunicação Veículo para Infraestrutura (do inglês, *Vehicle to Infrastructure*, V2I).

Em Iqbal e Khan (2018), são enfatizados os desafios envolvidos na oferta de serviços sensíveis ao contexto em um ambiente de Internet de Veículos (do inglês, *Internet of Vehicles*, IoV). O IoV é a evolução das VANETs e do transporte inteligente, onde os sistemas estarão focados em colher os benefícios dos dados gerados a partir dos vários sensores dentro dessas redes. A mineração da quantidade de dados gerados pelos sensores veiculares e pelo meio ambiente terá um grande potencial para permitir novos serviços.

O problema da tese, aqui mencionado representa a pergunta que é direcionada para estabelecer os objetivos da mesma. Baseado no questionamento inicial, no qual é definido o escopo da pesquisa, novas direções podem ser descobertas e sugeridas a partir da contextualização, justificativas e resultados que serão apresentados neste documento.

### 1.3 HIPÓTESE

A partir das características particulares das VANETs multimídias, um protocolo de roteamento colaborativo, que combine as principais características, pode melhorar o desempenho da rede e na transmissão de vídeos.

Nesta tese é realizada uma investigação sobre os mecanismos de formação de *cluster* que utilizam informações coletadas da rede para conceber algoritmos de roteamento em VANETs. A partir deste levantamento, é proposto o algoritmo do protocolo de roteamento colaborativo para transmissão de vídeo em VANET, denominado de *Collaborative Routing Protocol for Video Streaming in VANETs* (CRPV), com as informações coletadas durante a formação do *cluster* em cenário de VANETs para alcançar o objetivo na transmissão.

A partir da identificação de cada veículo no *cluster* através do seu Indicador de Qualidade do *Gateway* (do inglês, *Gateway Quality Indicator*, GQI), é possível realizar a comunicação colaborativa entre os veículos, podendo ser aplicada para a tomada de decisões, como a escolha de rotas alternativas ou mudança de veículos fontes do vídeo, por exemplo. No entanto, as combinações das informações coletadas por cada veículo contribuem para uma rede com pouca quebra de enlace e garantindo uma comunicação fim-a-fim entre os veículos e, desta forma, contribuindo para assegurar que o conteúdo multimídia transmitido tenha uma qualidade mínima, considerando os requisitos de QoE.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Esta tese tem como objetivo principal realizar distribuição eficiente de vídeos gravados a partir de veículos, com qualidade mínima assegurada, baseada no ângulo de gravação a partir do veículo, tendo o propósito de comunicar aos agentes de segurança pública sobre os eventos ocorridos nas estradas. Para que o objetivo desta tese seja alcançado, será necessário inicialmente, minimizar o tráfego de vídeo entre os colaboradores do *cluster*, identificando quem possui o melhor vídeo gravado a partir do ângulo de gravação para ser compartilhado nas comunicações Veículo para Veículo (do inglês, *Vehicle to Vehicle*, V2V) no *cluster*.

Para este fim, nesta tese propõe um protocolo de roteamento colaborativo para transmissão de vídeo em VANET, denominado de *Collaborative Routing Protocol for Video Streaming in VANETs* (CRPV), que é baseado na arquitetura de *cluster* com computação de névoa. No decorrer do processo de agrupamento dos veículos, algumas informações relacionadas ao problema são coletados para classificar cada veículo durante a formação do *cluster*, como: verificar o ângulo de gravação a partir da câmera veicular para classificar a região de interesse em função do evento ocorrido, analisar a velocidade de cada veículo do *cluster*, para determinar o tempo de permanência do veículo em uma célula LTE e, conseqüentemente, ter estimativa de tempo de conexão em comunicação V2I e verificar a localização de cada veículo do *cluster* em função da Estação Base (do inglês, *Base Station*, BS), denominada de *Evolved Node B* (eNodeB).

### 1.4.2 Objetivos Específicos

O cenário de formação de *cluster* em uma rodovia com aplicações para VANETs multimídia, devido aos problemas na comunicação V2V durante o processo de compartilhamento e transmissão de vídeos, encontram restrições causadas pelas limitações da arquitetura e dos protocolos.

O CRPV é baseado na arquitetura de *cluster* e, durante o processo de agrupamento dos veículos, algumas informações são coletadas para classificar cada veículo durante a formação do *cluster*, e as informações coletadas são:

- I. Identificar os veículos candidatos à formação do *cluster*;
- II. Verificar o ângulo de gravação dos veículos que estão no *cluster*, para classificar a região de interesse em função do evento ocorrido.
- III. Analisar a velocidade de cada veículo do *cluster*, para determinar o tempo de permanência do veículo em uma célula LTE;
- IV. Analisar a localização de cada veículo do *cluster* em função da estação base (BS), denominada de *Evolved Node B* (eNode B). e,
- V. Utilizar os conceitos de computação em névoa no processamento das informações coletadas da VANET.

Para o CRPV, após informações coletadas inicia-se o processo de agrupamento e formação do *cluster* que será essencial para o protocolo, e desta forma, para minimizar os problemas de transmissão de vídeo em VANETs. O CRPV realizar o cálculo do *Gateway Colaborativo* (GC) para classificar cada veículo em uma lista linear conforme o seu indicador de qualidade do *gateway* (GQI), em seguida definir a tabela de roteamento para cada veículo do *cluster* na comunicação V2V a partir dos valores do GQI e por fim realiza a colaboração veicular (comunicação, coordenação, cooperação) conjunta dos veículos do *cluster*, para diminuir a troca de vídeos desnecessária na comunicação V2V.

Simulações são realizadas com o objetivo de analisar os impactos e os benefícios do CRPV quanto à disseminação de conteúdo de vídeo de uma VANETs na comunicação V2V. As métricas utilizadas para a análise foram: Avaliação de desempenho da rede com métricas de QoS e avaliação da qualidade do vídeo com métricas de QoE.

## 1.5 METODOLOGIA

Considerando a aplicação para o cenário proposto, algumas características foram delimitadas inicialmente para o escopo desta tese e das simulações realizadas, como por exemplo:

- Aplicações de segurança no trânsito;
- Cenário de rodovia com três pistas;
- Todos os veículos possuem interfaces Wi-Fi;
- Nem todos os veículos possuem interfaces LTE;
- Todos os veículos estão em sentido único;
- Nem todos os veículos possuem câmeras de gravação;
- O ângulo de gravação dos vídeos em cada veículo será identificado por região de interesse (ângulos da pista1, pista2, pista3);
- Todos os veículos possuem velocidade caracterizada por intervalos (menor que 20 km/h de 20 km/h a 39 km/h de 40 km/h a 59 km/h de 60 km/h a 79 km/h de 80 km/h a 100 km/h e maior que 100 km/h);
- Na comunicação V2I com a rede LTE, será utilizada uma interface de comunicação X2 (não será necessário autenticação e tarifação), que conecta ponto-a-ponto duas eNBs vizinhas.

## 1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 2 introduz o referencial teórico das VANETs, das redes LTE (4G) na comunicação V2I, da arquitetura da computação em névoa, protocolos de transmissão de vídeos e suas características, além de métrica de QoS e QoE.

O Capítulo 3 apresenta uma análise da revisão sobre algumas técnicas de formação de *clusters* e alguns protocolos de roteamento baseados em *clusters* para cenários de VANETs em arquiteturas de rede LTE e computação em névoa.

O Capítulo 4 apresenta o protocolo CRPV com suas características para classificar as informações coletadas da velocidade, localização e gravação dos vídeos para realizar o cálculo do GQI e da tabela de roteamento para os veículos no *cluster*.

O Capítulo 5 apresenta a avaliação do protocolo CRPV. Também são apresentadas as modelagens, as ferramentas e os ambientes de simulação, além da análise dos resultados dos experimentos realizados.

Para finalizar, o Capítulo 6 resume as contribuições desta tese e dos resultados obtidos, além de apresentar sugestões para trabalhos futuros.

## 1.7 PUBLICAÇÕES

BEZERRA, Paulo et al. A collaborative routing protocol for video streaming with fog computing in vehicular ad hoc networks. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 15, n. 3, p. 1550147719832839, 2019.

MELO, Adalberto ; BEZERRA, Paulo ; ABELÉM, A. J. G. ; CERQUEIRA, Eduardo . PriorityQoE: A Tool for Improving the QoE in Video Streaming. **Intelligent Multimedia Technologies for Networking Applications**. 2ed.Greece: 2013, v. p. 270-290.

BEZERRA, Paulo; MELO, Adalberto ; DOUGLAS, Allan ; QUADROS, Carlos ; ABELÉM, A. J. G. ; CERQUEIRA, Eduardo. **Control of QoE based on Algorithms for the Disposal of Packets concerned with Streaming Video in Wireless Networks**. International journal of computer science and network security, v. 12, p. 58-65, 2013.

BEZERRA, Paulo; MELO, Adalberto ; PINHEIRO, Billy ; COQUEIRO, Thiago ; ABELÉM, A. J. G. ; CASTRO, Agostinho ; CERQUEIRA, Eduardo . **Recent Advances in Future Multimedia Mobile Networks**. **Mobile Multimedia**: INTECH, 2013, v. p. 51-72.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma visão geral das definições, desafios e conceitos de VANETs, da arquitetura da rede LTE, da computação em névoa e sua arquitetura, da transmissão de vídeos e de algumas métricas de QoS e QoE.

### 2.1 REDES VEICULARES

As VANETs são formadas por veículos que podem comunicar-se diretamente entre si, através de tecnologias de comunicação sem fios e de protocolos de encaminhamento adequados. O elevado dinamismo desse tipo de rede faz com que essa seja uma área de investigação com enormes desafios tecnológicos. Um dos principais fatores que alavancaram seu desenvolvimento foi a necessidade de aumentar a segurança e eficiência do tráfego por meio de comunicação entre veículos.

O objetivo inicial das VANETs convencionais buscava alcançar um nível de segurança nas estradas, através da comunicação em tempo real entre veículos com tecnologia avançada de acesso sem fio ou sem a ajuda de Unidades de Acostamento (do inglês, *Road Side Units*, RSU). Apesar de ter um enorme potencial para abordar questões de segurança e eficiência do tráfego com menor custo operacional, as VANETs não foram capazes de atrair interesses comerciais (SAINI; ALELAIWI; SADDIK, 2015). O problema de comercialização das VANETs inicialmente inclui as questões relacionadas à arquitetura de rede *ad hoc* pura<sup>1</sup> (HASAN et al., 2011).

#### 2.1.1 Comunicação V2X

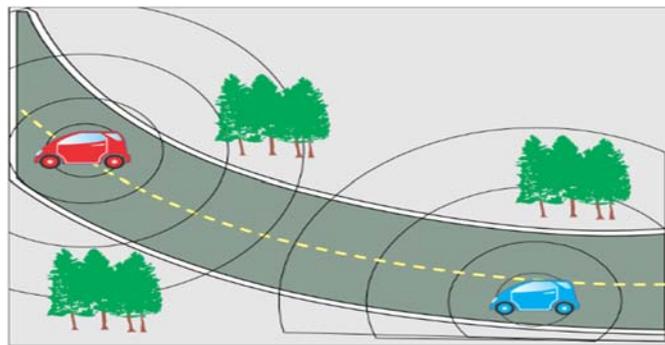
Para VANETs, pode-se citar quatro tipos de comunicação Veículo para Veículo (do inglês, *Vehicle to Vehicle*, V2V), Veículo para Infraestrutura (do inglês, *Vehicle to Infrastructure*, V2I), Veículo para Veículo para Infraestrutura (do inglês, *Vehicle to Vehicle to Infrastructure*, V2V2I) e Veículo para Veículo para Infraestrutura para Veículo (do inglês, *Vehicle to Infrastructure to Vehicle*, V2I2V).

---

<sup>1</sup> É aquela na qual todos os terminais funcionam como roteadores.

A primeira comunicação pode ser realizada de V2V conforme ilustrado na Figura 2.1. Na comunicação exclusiva entre veículos cada Unidades de Bordo (do inglês, *On Board Unit*, OBU) funciona em modo *ad hoc*, podendo, assim, encaminhar mensagens através de múltiplos saltos. Nesse tipo de configuração não é necessária uma infraestrutura para seu funcionamento, porém a conectividade da rede é altamente dependente da densidade veicular e do padrão de mobilidade (velocidade, traçado da estrada, etc).

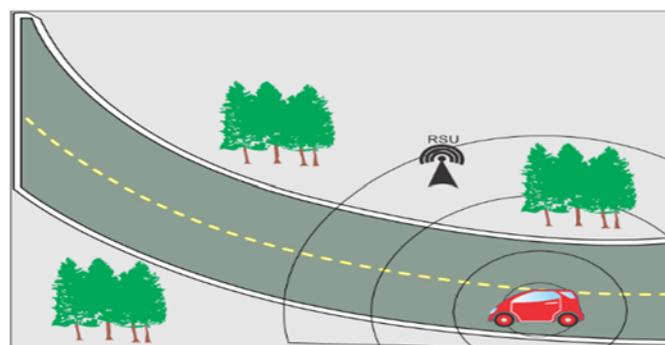
Para tal arquitetura, os veículos se comportam como os nós da rede e o tráfego da comunicação vai passando de veículo para veículo, até o seu destino final. Nesse tipo de arquitetura, apesar de ser muito mais simples que as outras, tem problemas quanto à conectividade entre os roteadores, visto que sua quantidade é aleatória, e suas características (velocidade, movimento, entre outras) não são totalmente padronizadas.



**Figura 2.1 - Comunicação V2V**

Fonte: Adaptada de (CAMPOLO et al., 2011).

A segunda comunicação pode ser realizada de V2I conforme ilustrado na Figura 2.2. Já no modo infraestruturado a conectividade da rede veicular aumenta e também pode ser integrada, através de *gateways*, a outras redes.

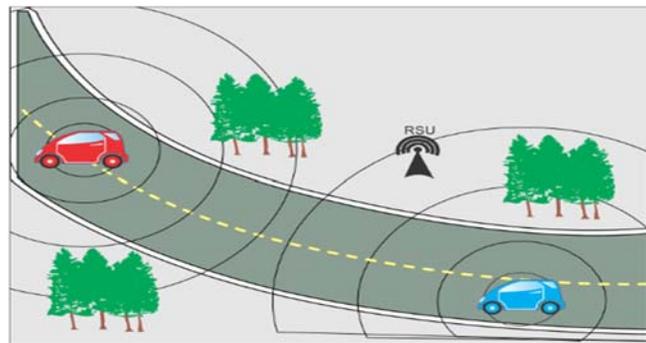


**Figura 2.2 - Comunicação V2I**

Fonte: Adaptada de (CAMPOLO et al., 2011).

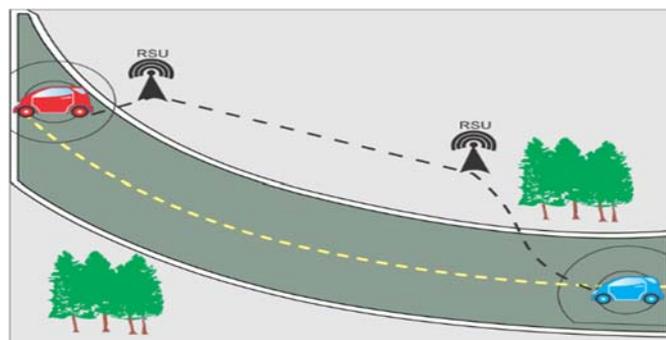
Diferentemente dos nós dinâmicos da arquitetura anterior, a infraestrutura possui seus nós em pontos fixos das estradas, tornando-os nós estáticos na rede. Assim, o tráfego fica concentrado nesses pontos fixos denominados RSU, o que diminui o problema da conectividade (GOZÁLVEZ; SEPULCRE; BAUZA, 2012). Porém, para garantir total usabilidade dessa arquitetura, nas estradas deve conter um número elevado de pontos fixos em sua extensão, o que acarretaria em um preço muito elevado de instalação.

A terceira comunicação pode ser realizada de V2V2I conforme ilustrado na Figura 2.3. Visando solucionar os problemas de cada arquitetura e somar seus benefícios, pensou-se em uma arquitetura híbrida onde exista os dois tipos de nós na rede, os veículos e os pontos fixos na estrada.



**Figura 2.3 - Comunicação V2V2I (híbrida)**  
Fonte: Adaptada de (CAMPOLO et al., 2011).

A quarta comunicação pode ser realizada de V2V2I conforme ilustrado na Figura 2.4. A comunicação entre veículos distantes é possível quando RSUs diferentes estão conectados por fios ou outros *links* de comunicação fixa (Internet), e cada um está conectado a um ou mais veículos. Desse modo, a conexão entre RSUs serve de ponte para a comunicação entre dispositivos de bordo dos veículos.



**Figura 2.4 - Comunicação V2I2V através de RSUs interligadas**  
Fonte: Adaptada de (CAMPOLO et al., 2011).

Além das estruturas de comunicação V2V, V2I, V2V2I e V2I2V, as VANETs, também são compostas pelos seguintes elementos:

- Estações-Base: são instaladas ao lado das vias de tráfego com o objetivo de fornecer a comunicação entre a rede veicular e outras redes, como a Internet. Essas estações podem pertencer a órgãos governamentais ou provedores de serviços com fins comerciais.
- Veículos: são os principais elementos das VANETs, podendo ser veículos particulares (carros, caminhões, etc.), públicos (ônibus) ou oficiais (viaturas de polícia, ambulâncias, etc.). Esses “veículos inteligentes” podem ser equipados com diversos componentes que possibilitam a comunicação e a execução de aplicativos. Alguns deles estão descritos abaixo:
  - ✓ Sensores: são responsáveis pelo monitoramento dos eventos ocorridos com o veículo e ao seu redor.
  - ✓ Unidade de Computação (UC): unidade central de processamento do veículo, responsável por transformar os dados obtidos através dos sensores em informações relevantes para os motoristas e para a rede.
  - ✓ Unidade de Armazenamento: guarda os dados obtidos pela UC para futuras consultas.
  - ✓ Unidade de Comunicação: permite a comunicação sem fio com outros veículos e com as estações-base.
  - ✓ Sistema de Posicionamento Global (GPS): ajuda o veículo a informar melhor a sua posição para o resto da rede e a localização de eventos ocorridos nas estradas (acidentes, por exemplo).

### **2.1.2 Aplicações de Redes Veiculares**

As aplicações de VANETs podem ser divididas em três classes: segurança no trânsito, entretenimento e assistência ao motorista. As aplicações de segurança possuem caráter preventivo e emergencial, onde o principal desafio é divulgar rapidamente as informações de acidentes ocorridos, para que o condutor tenha tempo hábil para reagir ao evento. A classe das aplicações de entretenimento (jogos, filmes etc), inclui adaptações de aplicações da Internet para VANETs. Por fim, as aplicações de assistência ao motorista envolvem o recebimento de informações que auxiliem o condutor ou automatizem serviços disponíveis nas rodovias.

### 2.1.2.1 Segurança no Trânsito

A promessa de aumento de segurança no trânsito tem sido um dos principais incentivos ao desenvolvimento das redes veiculares (CHU; HUANG, 2012). Em geral, as aplicações de segurança têm por objetivo reduzir o número e a gravidade dos acidentes através da troca de informações entre os veículos. Essas informações podem ser apresentadas ao motorista ou utilizadas para acionar um sistema ativo de segurança. Tais aplicações impõem requisitos restritos de latência e confiabilidade, exigindo características diferenciadas dos protocolos de camadas inferiores.

O conteúdo dessas aplicações podem ser multimídia, que tem o potencial de aumentar o nível de informações coletadas, quando comparadas a mensagens de texto. Por exemplo, ele permite uma tomada de decisão apropriada por parte dos agentes de segurança com base nas informações visuais. Neste contexto, conteúdo multimídia fornece informações mais precisas do que uma simples mensagem de texto, permitindo que especialistas ou software específicos de segurança pública possam verificar visualmente o impacto real do evento e, dessa forma, evitar alarmes falsos, tomar consciência do que está acontecendo no ambiente, planejar ações, detectar objetos e analisar, de forma mais segura, as informações recebidas (CHU; HUANG, 2012).

### 2.1.2.2 Entretenimento

Informações sobre restaurantes locais, postos de gasolina e demais pontos de interesse podem ser carregadas no veículo por uma RSUs e compartilhadas com os demais veículos em uma arquitetura *ad hoc* (TAL; MUNTEAN, 2012). O mesmo pode ser feito com arquivos multimídia (música, filmes, notícias, *e-books* etc). Um anúncio pode ser transmitido da mesma maneira, e sua exibição ainda pode ser condicionada às informações coletadas do veículo. Por exemplo, postos de gasolina podem ser sugeridos a veículos com pouco combustível, oficinas mecânicas a veículos com problemas diagnosticados eletronicamente. A maioria das aplicações de entretenimento propostas para redes veiculares, no entanto, está associada à onipresença de acesso à Internet. Por isso, é necessário adaptar as aplicações mais usadas na Internet de acordo com as características das redes veiculares.

Muitas aplicações para redes veiculares defendem o uso da arquitetura *ad hoc*, por dispensar elementos centralizadores e por possibilitar a comunicação entre veículos sem o intermédio de pontos de acesso. Além disso, no caso infraestruturado, manter a rede totalmente conectada requer um alto custo de instalação e manutenção. A partir desses argumentos, muitas aplicações de entretenimento preferem utilizar os sistemas par-a-par ao modelo cliente-servidor, que é centralizado. A questão é que, frequentemente, essas aplicações necessitam de acesso à Internet, que só é possível através de pontos fixos de interconexão ligados a uma infraestrutura cabeada. Esses pontos fixos, que podem ser RSUs, são nós especiais que também pertencem à rede veicular e são chamados de *gateways* (TAL; MUNTEAN, 2012).

### 2.1.2.3 Assistência ao Motorista

A principal finalidade das aplicações de assistência ao motorista é auxiliar a condução do veículo a partir do monitoramento e disponibilização de informações (AISSAOUI et al., 2014). Essas informações são adquiridas a partir de serviços que podem ser oferecidos ao condutor em momentos oportunos ou podem ser de fácil acesso através de procedimentos de busca. Dentre alguns exemplos, pode-se citar: aviso de estacionamentos, disseminação de informações de vias, controle de tráfego, auxílio a cruzamentos, condução conjunta de veículos, localização em mapas, aumento da visibilidade e veículos sem condutor humano.

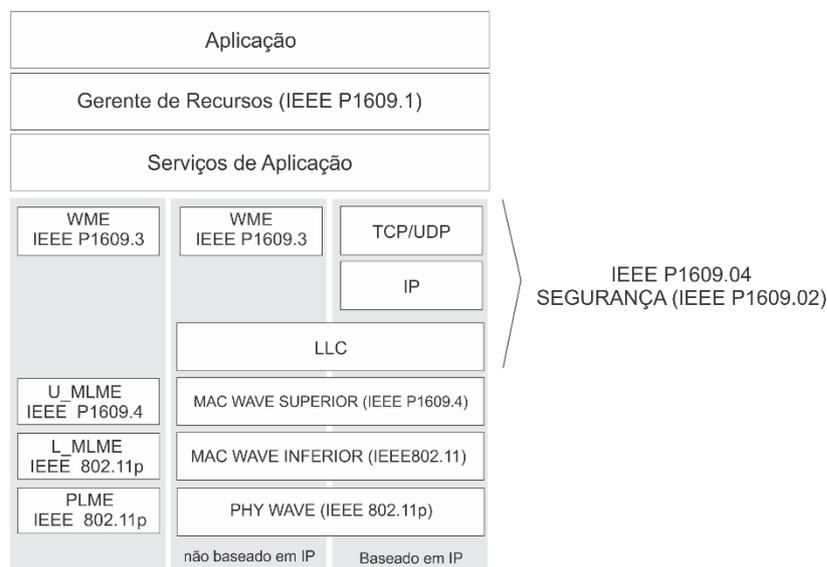
Dentre as aplicações desta classe, as aplicações de indicação de vagas de estacionamento vêm recebendo bastante atenção. Um dos argumentos utilizados é que, além de conveniente, ela pode reduzir os problemas de congestionamento nas cidades. Outra aplicação importante de auxílio ao motorista é a disseminação de informações sobre as condições das vias. Essas aplicações buscam reduzir o tempo de espera dos motoristas em congestionamentos, apresentando rotas alternativas que evitam áreas com tráfego lento. Essas aplicações possuem ainda o efeito indireto de redução da poluição ambiental e podem ser utilizadas para evitar áreas de risco (AISSAOUI et al., 2014). Outra aplicação que utiliza redes veiculares para informar aos motoristas a aproximação de veículos de emergência (do inglês, *Emergency Service Vehicles*, ESV), facilitando a passagem desses veículos até seus destinos.

Cada ESV envia periodicamente mensagens em difusão contendo o identificador do veículo, o tipo de ESV (carro de polícia, ambulância etc.), seus pontos de origem e de destino, a identificação da rota (lista das vias pertencentes àquela rota), a velocidade ideal para alcançar

o destino, sua posição atual e estimativa de tempo de envio da mensagem pelo ESV. Dessa forma, os veículos recebem informações completas sobre o ESV que está se aproximando, auxiliando motoristas a tomarem a melhor decisão com antecedência.

### 2.1.3 Arquitetura IEEE 802.11p

Nesta seção, serão abordados os protocolos utilizados na padronização das comunicações entre redes veiculares através da arquitetura do padrão IEEE 802.11p WAVE (*Wireless Access to Vehicular Environment*). Para compreensão melhor da estrutura dos protocolos a Figura 2.5 é utilizada para descrever as camadas da arquitetura.



**Figura 2.5 – Arquitetura IEEE 802.11p WAVE**  
Fonte: Adaptada de (ALASMARY; ZHUANG, 2012).

O Padrão IEEE 802.11p para VANETs definem as características das camadas físicas e de controle de acesso ao meio (ALASMARY; ZHUANG, 2012). O IEEE 1609 foi designado para disponibilizar recursos para grande quantidade de aplicações em ambientes veiculares, incluindo aplicações de segurança (KARAGIANNIS et al., 2011). Cada um dos documentos do padrão IEEE 1609 trata de características específicas das redes veiculares.

O Padrão IEEE 1609 (P1609.1, P1609.2, P1609.3, P1609.4) define a arquitetura de comunicação complementar para padronizar um conjunto de serviços e interfaces que coletivamente permitem, de forma segura, as comunicações sem fio do tipo V2V e V2I (ALASMARY; ZHUANG, 2012).

O padrão IEEE P1609.1 (Gerente de Recursos) descreve os serviços de dados e define os serviços da aplicação dentro da arquitetura WAVE. Na arquitetura WAVE, existem duas unidades importantes, as RSUs, dispositivos estáticos que guardam aplicações e proveem serviços, e as OBU's que executam as aplicações que usam um serviço específico. Em uma RSU, é executada uma aplicação de Gerente de Recursos (do inglês, *Resource Manager*, RM) que se comunica com um Processador de Comandos de Recursos (do inglês, *Resource Command Processor*, RCP) situado em uma OBU. O RM tem como função multiplexar pedidos vindos das RSUs que podem estar se comunicando com as RCPs.

O padrão IEEE P1609.2 (Gerente de Segurança) define os formatos de mensagens seguras e seu processamento. Define os momentos em que essas mensagens seguras devem ser utilizadas e como deve ser feito o processamento delas de acordo com o seu propósito. Um subconjunto das OBU's, utilizados em veículos de segurança pública, chamado de OBU's de Segurança Pública (PSOBU's). Esse subconjunto é implementado para controle de sinais de trânsito e outras atividades semelhantes. Semelhante ao padrão anterior, o IEEE P1609.2 define um gerente de segurança que atua no gerenciamento do certificado principal (raiz) e no armazenamento das listas de certificados que foram revogados por uma Autoridade de Certificação.

O padrão IEEE P1609.3 define os serviços das camadas de rede e de transporte, incluindo roteamento e endereçamento. Para dar suporte seguro à troca de dados da arquitetura WAVE é definido um plano de dados e um de gerenciamento.

- Plano de dados: especifica os protocolos de comunicação que são responsáveis pelo envio de dados gerados pelas aplicações WAVE e também pelo tráfego que as entidades do plano de gerenciamento geram na rede.
- Plano de gerenciamento: configura e faz a manutenção do sistema. Implementa serviços de monitoramento da utilização de canais, registro de aplicações e manutenção da base de dados de gerenciamento.

O padrão IEEE P1609.4 fornece aprimoramentos para o IEEE 802.11 *Media Access Control* (MAC) para apoiar as operações WAVE.

## 2.2 REDES LTE 4G

A tecnologia móvel, também conhecida de quarta geração (4G), irá desempenhar um papel central para o futuro das comunicações nos cenários das redes móveis (PANDE, 2014). O *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) é o órgão responsável pela padronização e especificação do *Long Term Evolution* (LTE) (SHEN et al., 2012).

O LTE tem como objetivo apresentar uma arquitetura baseada totalmente em Protocolo Internet (do inglês, *Internet Protocol*, IP) onde na *System Architecture Evolution* (SAE), que se trata de uma evolução das redes de Serviços Gerais de Pacote por Rádio (do inglês, *General Packet Radio Services*, GPRS) com algumas evoluções caracterizadas como: arquitetura simplificada, conceito de redes *All-IP*, suporte a redes de acesso via rádio e suporte à mobilidade entre redes de acesso (HOLMA; TOSKALA, 2011).

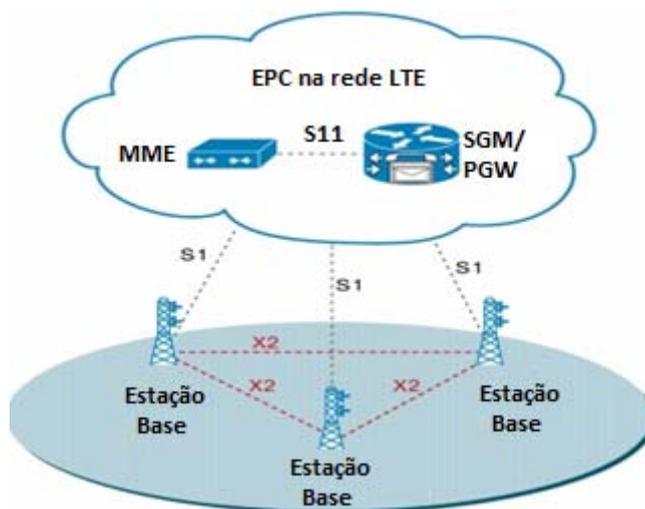
### 2.2.1 Arquitetura

O LTE foi proposto pelo 3GPP e apresentado nas *Releases* 8 e 9, tratando-se de um sistema totalmente novo de comunicações móveis (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2013). A *Release* 8 do 3GPP foi marcada pela introdução de uma nova rede de *Core*, a SAE (*System Architecture Evolution*). A SAE também é denominada *Evolved Packet Core* (EPC) que, operando em conjunto, o LTE/SAE, abrange o EPS (*Evolved Packet System*) (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2013).

O Evolved-UTRAN (E-UTRAN - *Evolved-Terrestrial Radio Access Network*) é uma interface de rádio inovadora e evoluída, baseada na tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), que associa diferentes sub-canais para usuários diferentes, evitando problemas causados por reflexões multipercursos, enviando *bits* de um dado a baixas velocidades, combinados no receptor para formar uma mensagem de alta velocidade. O SAE é uma rede *All-IP* desenvolvida para suportar o EUTRAN; ou seja, a rede básica e o acesso rádio são completamente comutados por pacotes (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2013).

A *Release* 9 (Rel-9) foi divulgada no final do ano de 2009 e definiu, de forma mais precisa, algumas integrações do LTE e aprimorou ainda mais alguns componentes das redes

3G, promovendo melhorias nas taxas de transmissão de dados em dispositivos baseados em HSPA+. Assim, foi obtida a interoperabilidade entre as duas tecnologias, não havendo a necessidade de migrar do UMTS (3G/3.5G) para o LTE (3.9G/4G) por algum tempo. A arquitetura é composta principalmente por dois componentes, E-UTRAN E EPC, como é ilustrado na figura 2.6.



**Figura 2.6 – Arquitetura de Acesso das Redes LTE**  
Fonte: Adaptada de (COX, 2013).

O Evolved-UTRAN (E-UTRAN – *Evolved-Terrestrial Radio Access Network*) consiste apenas em um elemento, o eNodeB. O EPC é composto pelo Entidade de Gestão da Mobilidade (MME), o *Serving Gateway* (S-GW) e o *Packet Data Network Gateway* (P-GW), sendo que estes dois últimos compõem o *System Architecture Evolution Gateway* (SAE-GW) (COX, 2012).

### 2.2.2 Estação Base

A estação base na rede LTE é chamada eNodeB (do inglês, *Evolved NodeB*), unidade física de transmissão e recepção rádio. Ela é responsável pela conversão de dados, enviados pela RNC, em sinais eletromagnéticos e o envio destes sinais para o meio de transmissão. Outra principal funcionalidade da Node B é o controle de potência dos terminais móveis e a captura de dados para o processo de gerenciamento da rede, tais como qualidade e robustez da conexão, que está relacionada à taxa de erro de *bit* BER (*Bit Error Rate*), e à taxa de erro de quadro FER (*Frame Error Rate*). Os envios dessas informações para a RNC estão em um relatório de medidas para que se possa tomar decisões como *handover*, por exemplo (REZAEI; HEMPEL; SHARIF, 2011).

Do ponto de vista da rede rádio, cada Node B é formada por diversas unidades lógicas denominadas células. Uma célula é a menor entidade da rede e possui um número de identificação próprio, chamado CI (*Cell ID*), que constitui um dos métodos de rádio-localização baseado na identidade da célula, porém, esse método possui baixa precisão comparado a outros métodos mais complexos. Toda célula está associada a um *scrambling code* que, em conjunto com o CI, permite que o UE reconheça aquela célula (REZAEI; HEMPEL; SHARIF, 2011).

Embora as principais funções da Node B estejam relacionadas com a transmissão e recepção do sinal rádio, existem também outras funções como: geração de código e o controle de potência (SESIA; TOUFIK; BAKER, 2011).

### **2.2.3 Interface X2**

As eNB cooperam entre si para fornecer determinados serviços aos assinantes. Quando estamos trafegando por uma rodovia, iremos passar pela área de cobertura da estação base atual rapidamente, devido à velocidade do veículo. Para não perder a conexão, as eNB cooperam entre si e com o resto da rede celular, para encontrar automaticamente a próxima estação de base que poderá garantir a conexão.

Na rede LTE, as eNB também possuem inteligência e com isso não necessitam de comunicação constante com o núcleo da rede LTE para algumas funções. Esse método é muito mais eficiente e favorável ao assinante, pois reduz consideravelmente o fluxo de tráfego na rede e latência, conseqüentemente. Os benefícios da interface X2 não estão limitados apenas à inteligência, durante a comunicação e cooperação é possível executar o gerenciamento de carga entre elas. Eles podem relatar status e erros, e executar outras funções de cooperação (PACHECO; AKYILDIZ; CASARES, 2013).

Existem três métodos para a implementação da interface X2. Neste trabalho apenas o primeiro chamado de método direto será comentado considerando que foi o método utilizado nas simulações. A eNB pode se comunicar diretamente com outra eNB, por fibra, sem fio ou banda licenciada. O método direto é o melhor, considerando custos e distância alcançada, uma vez que é o menos sujeito a latência. Isso reduz o custo de implantação consideravelmente, mas introduz mais latência no arranjo (OUELLETTE; MARCHAND; PIERRE, 2013).

## 2.3 COMPUTAÇÃO EM NÉVOA

A arquitetura da computação em névoa foi utilizada nesta tese como base para classificar as informações coletadas dos veículos para determinar os parâmetros das informações do vídeo, da velocidade e da localização dos veículos em função da eNodeB. Os atuais serviços de computação como armazenamento, processamento de dados e controle foram transferidos para uma arquitetura de névoa. Essa rede veicular pode permitir que veículos na VANETs utilizem recursos disponíveis na *Fog Computing*. A principal vantagem dos sistemas baseados em névoa é que eles permitem que processamento sejam levados a VANETs, com as informações acessíveis na névoa (OSANAIYE et al., 2017).

O *hardware* incorporado obtém dados de dispositivos IoT no local e os transmite para a camada de névoa. Dados pertinentes são então passados para a camada de nuvem, que geralmente está situada em uma localização geográfica diferente. A camada de nuvem é, portanto, capaz de se beneficiar de dispositivos IoT, recebendo seus dados através das outras camadas. Os provedores de serviços em nuvem geralmente alcançam resultados superiores integrando uma plataforma de nuvem com redes de névoa ou dispositivos de borda no local. A maioria das empresas está migrando para uma infraestrutura de névoa ou borda para aumentar a utilização de seus dispositivos de usuário final e IoT (LEE; LEE, 2015).

Computação em névoa e computação de ponta parecem semelhantes, uma vez que ambos trazem processamento para mais perto de onde os dados foram criados. No entanto, a principal diferença entre os dois reside em onde a localização e o poder de computação é colocada. Um ambiente de neblina coloca inteligência na rede local sem fio (do inglês, *Wireless Local Area Network*, WLAN). Essa arquitetura transmite dados dos terminais para um *gateway*, onde é transmitida para processamento, a computação de ponta coloca inteligência e poder de processamento em dispositivos como controladores de automação incorporados (PILLALAMARRI et al., 2018).

A IoT introduziu um número virtualmente infinito de terminais para redes comerciais. Essa tendência tornou mais difícil consolidar dados e processamento em um único *data center*, dando origem ao uso de "computação de borda". Essa arquitetura realiza cálculos próximos à borda da rede, que é mais próxima da fonte de dados (MALIK; OM, 2018).

A computação de borda é uma extensão de tecnologias mais antigas, como rede ponto a ponto, dados distribuídos, tecnologia de rede de auto recuperação e serviços de nuvem remotos. Ela é alimentada por *hardware* pequeno com matrizes de armazenamento em memória *flash* que fornecem desempenho altamente otimizado. Os processadores usados em dispositivos de computação de borda oferecem segurança de hardware aprimorada com um requisito de baixa potência (RAHMANI et al., 2018).

A Indústria de Internet das Coisas (do inglês, *Industrial Internet Things*, IIoT) é composto de camadas arquitetônicas de borda, névoa e nuvem, de modo que as camadas de borda e névoa se complementam (AL-TURJMAN; ALTURJMAN, 2018). A computação em névoa usa um sistema centralizado que interage com *gateways* industriais e sistemas de computador embarcados em uma rede local, enquanto a computação de borda executa grande parte do processamento em plataformas de computação incorporadas, fazendo interface direta com sensores e controladores. No entanto, essa distinção nem sempre é clara, pois as organizações podem ser altamente variáveis em sua abordagem ao processamento de dados (TAMMEMÄE et al., 2018).

A computação de borda é uma camada da computação em névoa, que oferece muitas vantagens em relação às arquiteturas tradicionais, como a otimização do uso de recursos em um sistema de computação em nuvem. A realização de cálculos na borda da rede reduz o tráfego da rede, o que reduz o risco de um gargalo de dados. A computação de borda também melhora a segurança ao criptografar dados mais próximos do núcleo da rede, enquanto otimiza os dados que estão mais longe do núcleo para desempenho. O controle é muito importante para a computação de borda em ambientes industriais, porque requer um processo bidirecional para manipular dados (TAMMEMÄE et al., 2018).

Neste cenário percebe-se que a computação local na borda da rede é muitas vezes necessária (CHEN; ZHANG; SHI, 2017). Como, por exemplo para processar dados de vídeo em tempo real, criar contextos de reconhecimento das informações a partir de sensores localizados nas câmeras veiculares e maximizar a eficiência das comunicações sem fio na borda da rede. No entanto, a nuvem está muito longe dos dispositivos para satisfazer requisitos de latência, devido a característica centralizada para lidar com a heterogeneidade e diversidade contextual em uma área local. Além de que é muito oneroso carregar os dados de sensores individuais para a nuvem (STOJMENOVIC et al., 2016).

Para ultrapassar estas limitações, porções da capacidade de computação em nuvem pode ser deslocada para a borda da rede e neste caso formem um ambiente de computação local. Ao distribuir os serviços de computação e de rede mais próximo de onde os dados dos usuários são gerados, a névoa atende melhor às demandas emergentes (MCMILLIN; ZHANG, 2017).

A computação em névoa apresenta uma nova arquitetura que "leva processamento aos dados", enquanto a nuvem "leva os dados para processamento" (AL-DOGHMAN et al., 2016). Desta maneira dispositivos de borda e dispositivos móveis podem estar interligados dentro de uma rede local e executar colaborativamente tarefas de armazenamento, processamento de dados e de controle (HAJIBABA; GORGIN, 2014).

Em uma arquitetura de computação em névoa redes de sensores podem desempenhar um papel significativo na medida em que sensores e atuadores implantados em ambiente distribuído podem vir a ser geradores de dados, controladores para sistemas físicos e plataformas de comunicação de rede. A névoa terá um *gateway* de borda que tem mais capacidade de computação. Uma rede de sensores, incluindo sensores e atuadores, estará profundamente conectado aos *gateways* da névoa e aos dispositivos móveis diretamente e, em seguida, faz extensas interações com eles, isso fornecerá novos serviços que conectam o ambiente físico à infraestrutura cibernética (RAHMANI et al., 2018).

A névoa pode vir a resolver muitos problemas de IoT por exemplo, os serviços da névoa serão capazes de melhorar a largura de banda e as restrições de custo das comunicações de longo alcance. No entanto, muitos desafios ainda permanecem, como modelar uma arquitetura de sistemas para interagir com a nuvem e com os dispositivos, além de gerenciar a conectividade física e lógica na névoa entre outros (LEE; LEE, 2015).

### **2.3.1 Arquitetura**

A arquitetura da computação em névoa foi projetada para ser implantada de maneira distribuída onde os dispositivos de borda fazem o processamento, em contraste a computação em nuvem. Os dispositivos de processamento e armazenamento estão localizados próximos à nuvem e a névoa torna mais capaz de servir os serviços de reconhecimento de latência através de pontos de acesso, telefones inteligentes, estações de base, switches, servidores e roteadores.

Os serviços que são referidos como serviços de baixa latência são principalmente serviços de emergência incluindo desastres naturais, cuidados de saúde e assim por diante. Além disso, aumentou a realidade, *streaming* de vídeo, jogos e qualquer outro sistema de comunicação inteligente que requer também computação sensível ao tempo. Com relação à melhoria da qualidade de vida através da tecnologia, a computação em névoa vai desempenhar um papel importante em um futuro próximo. Diversos estudos propuseram várias arquiteturas para a computação em névoa, entre elas podemos destacar a arquitetura descrita por Bonomi et al., (2012), onde a camada de névoa foi definida como inteligência distribuída, que reside entre a rede central e os dispositivos sensores. A figura 2.7 representa a arquitetura idealizada e a computação que suporta os futuros aplicativos IoT e o papel da Computação em Névoa Veicular (do inglês, *Vehicular Fog Computer*, VFC).



**Figura 2.7 – Arquitetura de Computação em Névoa.**  
 Fonte: Adaptada de (BONOMI et al., 2012)

Ainda segundo Bonomi et al., (2012), os mesmos também apontam várias características que fazem da computação em névoa uma extensão não trivial da computação em nuvem. Essas características estão localizadas na borda, como baixa latência, rede de sensores massiva, número muito grande de nós, suporte à mobilidade, interação em tempo real, conectividade sem fio dominante, heterogeneidade, interoperabilidade, análise on-line e interação com a nuvem.

### 2.3.2 Redes de Veículos Conectados

Em Bonomi (2014), é descrito um cenário de veículos conectados, semáforos e postes de iluminação inteligentes, equipados com câmeras, sensores e pontos de acesso. A comunicação de V2V e V2I e diretamente entre os pontos de acesso que enriquecem esse cenário. Os semáforos são capazes detectar as luzes piscando de uma ambulância e alterar automaticamente a sinalização das ruas para permitir a passagens dos veículos de forma mais rápida pelo tráfego. Os postes de iluminação interagem localmente com sensores para detectar a presença de pedestres e ciclistas, medindo a distância e a velocidade dos veículos que se aproximam. Os semáforos podem sincronizar uma "onda verde" entre as avenidas e enviar sinais de alerta para evitar acidentes.

A comunicação de dados em redes veiculares é usualmente realizada de forma descentralizada. Uma pesquisa mais extensa sobre métodos de encaminhamento e problemas em disseminação de dados nas redes veiculares *ad hoc* é apresentada em (Daraghmi et al., 2013). Entretanto, o conceito de névoa pode ser aplicado em Redes Definidas por Software (do inglês, *Software Defined Network*, SDN), para tratar problemas fundamentais das redes veiculares como a conectividade intermitente, o grande número de colisões e alta taxa de perda de pacotes.

O conceito de SDN em redes veiculares foi estudado e elaborado para o problema do agendamento cooperativo de dados em um ambiente de comunicação veicular híbrido descrito em (Liu et al., 2015). No framework para redes veiculares proposto, os semáforos e as unidades inteligentes nas estradas funcionam como dispositivos de névoa, assumindo a função dos roteadores no plano de dados SDN. O plano controle é implementado para monitorar e manter o estado individual dos veículos, otimizando o roteamento *multi-hop* nas redes V2V e V2I de uma forma logicamente centralizada.

A computação em névoa pode fornecer um controle eficiente de semáforos em escala muito mais ampla do que as soluções existentes. Em Zhou et al., (2014), um comando adaptativo de semáforos é empregado para maximizar o tráfego ao longo de pistas de mão única ou de mão dupla. Analisando o trajeto dos veículos, é possível diminuir o número de paradas e reduzir a emissão de gases do efeito estufa no ambiente. Em Li e Shimamoto (2012), é proposta uma arquitetura em três camadas para calcular em tempo real a velocidade recomendada de

veículos a partir da coleta de dados sobre o tráfego rodoviário utilizando: (i) dispositivos ETC (*Electronic Toll Collection*), (ii) antenas de rádio instaladas perto de semáforos e (iii) algoritmos para detecção de informações de tráfego com base em redes de sensores de proximidade (Kumar et al., 2013).

Uma solução baseada no paradigma em névoa pode acomodar uma variedade de mecanismos para coleta de dados como etiquetas como *Radio-Frequency IDentification* (RFID) em carros, sensores e câmeras de vídeo em semáforos, etc. As análises localizadas podem derivar informações de densidade de tráfego e fluxos em pontos específicos. Resumos dessas informações de tráfego devem ser encaminhados a partir dos dispositivos de névoa para a nuvem, possibilitando assim sua coordenação global. Mas os dispositivos de névoa são tomadores de decisão e podem coordenar ações locais junto com seus vizinhos. Para suportar o controle centralizado, a disseminação de dados e a mobilidade entre os nós de névoa é necessário que as informações sobre o estado dos veículos participantes sejam coletadas e migradas de forma eficiente. As informações sobre o estado dos veículos incluem sua localização em tempo real, velocidade, trajeto, capacidade de comunicação, etc.

## 2.4 TRANSMISSÃO DE VÍDEOS

As aplicações para transmissão de vídeo ao vivo são análogas a uma transmissão de televisão, só que nesse caso a transmissão é realizada a partir de um veículo por uma VANET. Atrasos de até dezenas de segundos, desde a requisição de um vídeo até o início da reprodução, podem ser tolerados, considerando o tipo de vídeo que está sendo transmitido ou compartilhado (FELICE et al., 2015).

No serviço de transmissão de vídeo, o cliente solicita arquivos de vídeos comprimidos que residem em servidores. Como resposta a essa requisição, o servidor envia ao cliente o arquivo de vídeo por uma porta. Essa porta pode corresponder tanto a protocolos orientados à conexão ou a protocolos não orientados à conexão. Usaremos como referência o TCP e UDP, respectivamente, por serem os mais utilizados (KUROSE; ROSS, 2012).

O protocolo TCP é orientado à conexão assegurando que toda a informação chegue ao ponto destino, na sequência correta. Por esse motivo, a maior parte dos serviços de transmissão de vídeo utiliza esse protocolo, já que os quadros do vídeo são apresentados na sua totalidade

(KUROSE; ROSS, 2012). Por outro lado, o protocolo UDP é um protocolo não orientado à conexão e, conseqüentemente, não garante a entrega da informação no destino. Por que motivo, há uma falta de informação nos quadros da seqüência de vídeo (KUROSE; ROSS, 2012).

O uso de um determinado protocolo de transporte para o envio do vídeo nesse tipo de serviço origina diferentes degradações do vídeo no receptor, quando a rede apresenta algum problema, por exemplo, de capacidade (largura de banda) ou perda de pacotes. No caso do TCP, a degradação principal no receptor é o congelamento de uma imagem por um período de tempo (pausa), o usuário não recebe novos quadros do vídeo durante o período da pausa. Para o caso do protocolo UDP, os problemas da rede se manifestam como um tipo de ruído na seqüência do vídeo, mas essas são apresentadas continuamente ao cliente (KUROSE; ROSS, 2012).

Assim, pode-se dizer que a transmissão de vídeo via UDP está mais relacionada às degradações espaciais, ou seja, existe uma degradação na imagem (quadros); e à transmissão que usa o protocolo TCP é mais afetada por degradação no domínio do tempo (pausas) (KUROSE; ROSS, 2012). A Figura 2.8 ilustra esses dois tipos de degradações.



**Figura 2.8 – Degradações do vídeo.**

(a) Protocolo TCP. (b) Protocolo UDP em um cenário com perda de pacotes.

No caso do protocolo TCP, o *buffer*<sup>1</sup> do transdutor pode passar por diferentes estados, dependendo da relação da taxa da rede e a taxa com a qual o vídeo é apresentado ao usuário. O *buffer* inicial é o período de tempo para armazenamento mínimo da informação a ser mostrada no início do vídeo. Esse parâmetro é configurável, assim, para redes com boa taxa de transmissão, podendo ser períodos curtos, por exemplo, dois segundos. Para redes de baixa taxa

<sup>1</sup> Região de memória física utilizada para armazenar temporariamente os dados.

de transmissão, como as VANETs, devem ser tempos maiores como de cinco segundos (SONG et al., 2012). Período de reprodução do vídeo, para algumas aplicações, deve ser apresentado de forma contínua, sem interrupções e sem perda de informação. O período de *rebuffering*<sup>1</sup> é o momento no qual o *buffer* não tem um mínimo de informação para ser apresentado.

## 2.5 TÉCNICAS DE FORMAÇÃO DE *CLUSTER*

Segundo Wu e Gerla (2015), o *cluster* cooperativo é muito utilizado em VANETs para solucionar os problemas de *download* ou *upload* de conteúdo e está se tornando cada vez mais popular, porém também enfrenta desafios devido ao número limitado de unidades de estrada (RSUs) e ao alto custo de *downloads* LTE. Os esquemas de *download* ou *upload* cooperativos V2V ou V2I podem melhorar significativamente a eficiência e reduzir custos. No entanto, nem todos compartilham seus conteúdos, porém poderiam ser motivados a minimizar seus próprios custos. Esse comportamento do usuário não cooperativo pode prejudicar gravemente o desempenho de um *cluster* cooperativo.

### 2.5.1 Agrupamento com Reconhecimento de Destino e Interesse

Segundo Ahmad et al., (2018), o mecanismo de Agrupamento com Reconhecimento de Destino e Interesse (do inglês, *Destination-and Interest-Aware Clustering*, DIAC), incorpora principalmente um algoritmo estratégico de teoria dos jogos<sup>2</sup> e um algoritmo de cálculo de localização automática<sup>3</sup>. O primeiro permite que os veículos participem e cooperem e apliquem uma política de uso justa entre os membros do *cluster* (do inglês, *Cluster Members*, CMs), enquanto que o segundo permite que os CMs calculem suas coordenadas de localização na ausência de um sistema de posicionamento global sob uma topografia urbana. O DIAC se esforça para reduzir a frequência de falhas de *link* não apenas entre veículos, mas também entre cada veículo e a rede LTE. O DIAC também considera a mobilidade do veículo e a qualidade do enlace LTE e explora os interesses comuns entre os veículos na fase de formação do *cluster*.

O algoritmo de formação de *cluster* proposto por Ahmad et al., (2018) compreende três fases principais, a saber: a primeira é para a verificação do *status* atual do *cluster*, a segunda é

---

<sup>1</sup> Atualização da região de memória física utilizada para armazenar temporariamente os dados.

<sup>2</sup> Ramo da matemática aplicada que estuda situações, estratégicas onde jogadores escolhem diferentes ações na tentativa de melhorar seu retorno.

<sup>3</sup> Algoritmo que realiza o cálculo das coordenadas de localização de um veículo no *cluster*.

para a formação e manutenção do *cluster*, sendo que neste processo de formação do *cluster*, é incorporada a seleção do CH. A terceira é a identificação do *cluster* e do seu CH. Nesta fase será introduzida uma crítica para impor o comportamento cooperativo entre os veículos participantes. A terceira inclui um mecanismo em que cada veículo escolhe a sua participação ou não do *cluster*. Se um veículo optar por fazer parte do *cluster*, o veículo pode ser eleito como CH e cooperar com outros CMs. Nesta técnica são utilizados parâmetros como o destino os valores de potência nas comunicações V2V e V2I, além de direção e velocidade média.

### **2.5.2 Cluster Dinâmico Baseado em Compartilhamento de Dados**

Segundo Wang et al., (2018), o mecanismo de *Cluster Dinâmico Baseado em Compartilhamento de Dados* (do inglês, *Dynamic Clustering-based Data Sharing*, DCDS), para serviços de dados cooperativos através de comunicações híbridas V2V e V2I para cenários de tráfego bidirecional é utilizado quando os veículos passam pela cobertura do RSU. A ideia geral é descrita da seguinte forma, eles são capazes de recuperar e armazenar em *cache* parte dos itens de dados via comunicação V2I. No entanto, devido à curta permanência de tempo dos veículos na cobertura do RSU, espera-se que um mecanismo de serviço de dados eficaz para veículos fora do cobertura do RSU via comunicação V2V possa suprir as limitações de tempo de conexão V2I.

Para este fim, as RSUs ajudarão dividindo veículos em diferentes grupos e, com o propósito de aliviar a interferência de comunicação V2V, vários veículos irão transmitir itens de dados ao mesmo tempo. Em particular, projetamos uma política de divisão de horário, pela qual veículos em diferentes *clusters* são atribuídos com *slots* tempo específico para transmissão de dados. Além disso, a fim de melhorar a eficiência de largura de banda, dentro de cada *cluster*. Ainda segundo Wang et al., (2018) uma estratégia foi adotada para selecionar os veículos mais adequados para o *cluster*, bem como o *status* do seu *cache* e alguns itens de dados para transmitir em determinados intervalos de tempo durante a passagem pela RSU.

## **2.6 QUALIDADE DE SERVIÇO (QoS)**

Otimização e QoS são muito importantes para as aplicações de emergência para VANETs multimídia. As VANETs requerem transmissão de mensagens em tempo real e que seja capaz de fornecer dados em tempo hábil e preciso para um socorro imediato. Por exemplo,

considerando-se o caso de aplicações de segurança no trânsito, qualquer atraso na entrega da mensagem pode ocasionar graves acidentes. Da mesma forma, o envio de arquivos multimídia e fluxos de vídeo requerem um alto nível de QoS (JOTHI; JEYAKUMAR, 2015). Os principais fatores de degradação de QoS nas VANETs multimídia estão associados a fatores, como: taxa de perda de pacotes; atraso ponto a ponto; variação de atrasos. Em uma rede de transmissão de pacotes, é necessário programar algoritmos de controle para diminuir a variação de atrasos e, conseqüentemente, melhorar o nível de satisfação do usuário final (JAGADISH; MANIVASAKAN, 2011).

A transmissão do vídeo ao longo das rodovias a partir de uma VANET apresenta grandes desafios (QUAN et al., 2014). A transmissão do conteúdo do vídeo exige preocupações com requisitos rigorosos de atraso e taxa de entrega. Além disso, o *jitter*<sup>1</sup> e controle de *buffer* tem de ser considerados quanto aos seus impactos sobre QoE dos usuários (BEZERRA et al., 2012). O vídeo está desempenhando um papel cada vez mais importante no futuro das comunicações. Para VANETs é um meio viável para o compartilhamento de informações de segurança, entretenimento, entre outras, com sua alta capacidade, coerência e influência sobre os seres humanos (QUADROS et al., 2014). A transmissão de vídeos em tempo real para VANETs ainda é um desafio devido à sua natureza dinâmica. Esse tipo de aplicação exige muito em termos de largura de banda e atraso.

As VANETs irão desempenhar um papel importante no cenário das cidades inteligentes e apoiarão o desenvolvimento, não apenas de aplicações de segurança, mas também de serviços de transportes inteligentes. As recentes melhorias em VANETs multimídia irão permitir aos condutores, passageiros e equipes de resgate, capturar e compartilhar vídeos. Os veículos podem cooperar entre si para transmitir ao vivo os fluxos de acidentes ou desastres de trânsito e proporcionar aos condutores, passageiros, e equipes de resgate informação visual sobre uma área monitorada (QUADROS et al., 2014).

---

<sup>1</sup> Variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede.

## 2.7 QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA (QoE)

O estudo de QoE em ciência da computação, provavelmente teve sua origem dos conceitos de *marketing* qualificando a experiência do usuário sobre o serviço. Este conceito pode ser visualizado na definição da ISO 9241-210:2010, indicando que a experiência do usuário seria definida como “as percepções e respostas de uma pessoa que resultam do uso ou antecipação do uso de um produto, sistema ou serviço”.

Em Morris e Turner (2001), define QoE basicamente como uma métrica subjetiva. O termo qualidade de experiência subjetiva dos usuários, foi usado nas primeiras publicações por volta de 2001, quando o termo começou a se tornar popular no meio acadêmico, mostrando este sentimento sobre a subjetividade do conceito. O conceito de aceitação de usuário, citado por Morris e Turner (2001), como uma “uma medida chave para avaliação em pesquisas relacionadas a de Tecnologia da Informação (TI)”.

As tradicionais técnicas que visam maximizar o nível de qualidade de aplicações multimídia estão focadas apenas no desempenho da rede ou em métricas de QoS. Porém, os parâmetros de QoS falham na captura de aspectos subjetivos associados com a percepção humana, no controle de rede e nas operações de otimização (SERRAL-GRACIÀ et al., 2010) (MU et al., 2009). Na tabela 1 são apresentados os principais serviços de vídeo os possíveis problemas que causam as degradações, os parâmetros que podem ser medidos e como QoE do usuário é afetado.

**Tabela 2.1 – Degradação do vídeo e relação com QoE**

Serviços	Problemas na rede	Parâmetros mensuráveis	Degradação e QoE
Streaming de Vídeo (protocolo não orientado a conexão; exemplo UDP).	Congestionamento na rede (falta de capacidade), sobrecarga nos roteadores, perda no canal de transmissão.	Taxa de transmissão, perda de pacotes, atraso fim a fim, e variação de atraso.	Degradação espacial (perda de informação nos quadros).
Streaming de Vídeo (protocolo orientado a conexão; exemplo TCP).	Congestionamento na rede (falta de capacidade), sobrecarga nos roteadores, perda no canal de transmissão.	Pausa, número de pausas, localização temporal das pausas. (No transdutor do dispositivo do usuário).	Degradação temporal (congelamento da imagem).

IPTV (protocolo não orientado a conexão; exemplo UDP).	Congestionamento na rede (falta de capacidade), sobrecarga nos roteadores, perda no canal de transmissão.	Taxa de transmissão, perda de pacotes, atraso fim a fim, e variação de atraso.	Degradação espacial (perda de informação nos quadros), chaveamento do canal).
Vídeo Conferência (protocolo não orientado a conexão; exemplo UDP).	Congestionamento na rede (falta de capacidade), sobrecarga nos roteadores, perda no canal de transmissão.	Taxa de transmissão, perda de pacotes, atraso fim a fim, e variação de atraso.	Degradação espacial (perda de informação nos quadros); latência.

Os serviços de *streaming* de vídeo, IPTV (*Internet Protocol Television*) e vídeo conferência utilizam os protocolos TCP ou UDP na transmissão de seus conteúdos e devido as limitações na rede acontecem diversos problemas (perda de pacotes, atrasos fim a fim e variação do atraso) durante a transmissão que causam perda nos quadros dos vídeos ocasionando degradação. Portanto, QoE ajuda a avaliar as aplicações multimídia sob o ponto de vista da percepção do usuário.

As métricas podem ser classificadas como objetivas ou subjetivas, tendo como retorno um valor quantitativo, que é mapeado para uma faixa de valores qualitativos. As métricas objetivas possuem como característica a realização da estimativa da qualidade do vídeo recebido pelo usuário através de modelos matemáticos, tendo seus valores mapeados para valores subjetivos. Já as subjetivas são caracterizadas como métricas que necessitam que o conteúdo multimídia seja analisado por um grupo de pessoas, e os resultados dessa análise são tratados estatisticamente para antecipar as percepções dos usuários.

Várias métricas objetivas foram desenvolvidas com o objetivo de estimar e prever o nível da qualidade de serviços multimídia, de acordo com a percepção do usuário. As principais métricas objetivas estão descritas a seguir.

### 2.7.1 Índice de Similaridade Estrutural

O Índice de Similaridade Estrutural (do inglês, *Structural Similarity Index*, SSIM) é uma métrica para medir a similaridade entre duas imagens. O índice SSIM pode ser visto como uma medida de qualidade de uma das imagens que estão sendo comparadas, desde que a outra

imagem seja perfeita. O SSIM compara três parâmetros do vídeo original com o vídeo degradado, são eles: luminosidade, contraste e estrutura dos objetos apresentados em cada *frame* do vídeo. Denominando o vídeo original de  $x$  e o vídeo degradado de  $y$ , são obtidas a média de cada vetor e o indicativo da qualidade do vídeo é gerado pela combinação das três médias. De acordo com Gao et al., (2009), o valor de SSIM é obtido através da Equação 2.1:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y+c_1)(2\sigma_{xy}+c_2)}{(\mu_x^2+\mu_y^2+c_1)(\sigma_x^2+\sigma_y^2+c_2)} \quad (2.1)$$

Onde:

$\mu_x$  é média de  $x$ ;

$\mu_y$  é a média de  $y$ ;

$\sigma_x$  é o desvio padrão de  $x$ ;

$\sigma_y$  é o desvio padrão de  $y$ ;

$\sigma_{xy}$  é a covariância de  $y$  ;

$c1 = (k_1L)^2, c2 = (k_2L)$  são duas constantes ;

$L$  = O valor máximo que pode ser atribuído a cada pixel;

$k_1 = 0,01$  e  $k_2 = 0,03$  por padrão.

O valor de SSIM é representado como um valor decimal entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 0, pior é a qualidade do vídeo. Quanto mais próximo de 1, melhor a qualidade do vídeo. No caso em que o valor seja igual a 1, o vídeo recebido pelo usuário é equivalente em 100% do vídeo original (KIM et al., 2013).

### 2.7.2 Medição de Qualidade de Vídeo

A métrica de Medição de Qualidade de Vídeo (do inglês, *Video Quality Metric*, VQM) foi desenvolvida pelo *The Institute for Telecommunication Science* para fornecer uma avaliação objetiva da qualidade do vídeo. Ela mede os efeitos da percepção das deficiências do vídeo, incluindo desfoque, movimentação irregular e artificial, ruído global e distorção de cor, para posteriormente as combinar em uma simples métrica.

A métrica é realizada em quatro etapas onde, na primeira, denominada "calibração", ocorre a comparação entre o contraste e o brilho do vídeo original com os do vídeo recebido. Posteriormente, ocorre a comparação do alinhamento espacial, onde se verifica a posição nos eixos horizontal e vertical de ambos os vídeos. Já a terceira etapa é caracterizada pela realização da análise da quantidade de *pixels* perdidos pelo vídeo recebido em relação ao vídeo original.

Ela se refere ao alinhamento temporal, comparando o tempo no qual cada *frame* foi recebido, em relação ao tempo no qual o mesmo deveria ter sido recebido. O VQM é dado por um número real entre 0 e 5. Quanto mais próximo o valor for de 0, melhor será a qualidade do vídeo, indicando uma menor distorção em relação ao vídeo original (MOORTHY et al., 2013).

## 2.8 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentados os desafios para VANETs, baseados em sua arquitetura e no padrão IEEE 802.11p WAVE, para manter a perfeita conectividade e mobilidade. Também foram identificadas as principais características e arquitetura da rede LTE, utilizada como infraestrutura na comunicação V2I com a computação em névoa, a importância da transmissão de vídeo em VANETs para compartilhar informações mais precisas e técnicas de formação de *cluster*. Por fim, foram apresentadas métricas de QoS e métricas objetivas de QoE, utilizadas para avaliar as aplicações multimídia sob o ponto de vista da percepção do usuário.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Numerosos algoritmos de agrupamento e roteamento foram recentemente propostos para as VANETs. Existem diferentes tipos de protocolos de roteamento baseados em *cluster* usados para obter uma comunicação eficiente, mas ainda há muitos problemas e desafios, tais como: o agrupamento em relação à modelagem de tráfego bidirecional (quando o tráfego que se aproxima das RSUs, em ambas as direções, não é especificado), a disseminação de dados técnicos, o roteamento, a garantia de QoS e a segurança (WANG et al., 2018).

Latif et al., (2018) revisaram vários estudos e compararam vários protocolos de difusão de dados de vários saltos existentes em termos de vários atributos, como estratégias de encaminhamento de dados, objetivos, tipos de arquitetura, cenários de aplicação, suposições, métricas de avaliação e plataformas de simulação. Além disso, uma taxonomia original desses protocolos foi introduzida com base nos cenários da estrada com discussões críticas de cada categorização em relação a pontos fortes, pontos fracos e restrições importantes. Os autores também discutiram as várias perspectivas, desafios e deficiências dos estudos existentes.

Bagherlou; Ghaffari, (2018) propuseram um algoritmo de roteamento confiável baseado em cluster para VANETs e aplicações confiáveis. Dessa forma, o ambiente simulado foi utilizado para o agrupamento adequado dos nós e os parâmetros de grau de cobertura e habilidade do nó foram considerados no método proposto.

Qureshi et al., (2018), propuseram o protocolo de roteamento baseado em cluster para redes esparsas e densas para lidar com topologias dinâmicas e a alta mobilidade de nós de veículos. O protocolo é responsável por configurar uma rota entre os nós de origem e destino. No entanto, devido à alta mobilidade dos veículos e à natureza intermitente dos canais sem fio, o volume de dados baixados por veículos individuais nas comunicações V2I é muito limitado. Esta limitação restringe severamente a qualidade das aplicações multimídia. Consequentemente, os protocolos de roteamento adaptados às características das VANETs devem ser desenvolvidos considerando o paradigma da computação de névoa.

### 3.1 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO BASEADOS EM *CLUSTERS*

Este capítulo apresenta de forma resumida, dois protocolos de roteamento baseados em *cluster* para redes veiculares. Estes protocolos, também foram utilizados nas simulações para análise dos resultados.

#### 3.1.1 Protocolo de Roteamento Passivo para Agrupamento em Redes Veiculares

Segundo Wang e Lin (2013), o Protocolo de Roteamento Passivo para Agrupamento em Redes Veiculares (do inglês, *Passive Clustering Aided Routing Protocol for Vehicular ad hoc Networks*, PASSCAR), tem como objetivo determinar participantes para a estrutura de *clusters* com características estáveis (mesma direção) e confiáveis, durante o processo de descoberta de rotas, para melhorar o desempenho do roteamento em cenários de rodovias com mão única e com várias pistas. Como objetivos específicos da proposta, cada veículo candidato determina a sua própria prioridade no *cluster*, usando métricas, como: grau do nó, transmissão esperada e tempo de vida do *link*. Os resultados obtidos pelos autores foram comparados com o mecanismo de *cluster* passivo para Redes Móveis *Ad Hoc* (do inglês, *Mobile ad hoc Network*, MANET), proposto por (HASHIM; SHARIFF; FADILAH, 2013).

Segundo Wang e Lin (2013), o PassCAR não só aumenta a probabilidade de sucesso de descoberta de rotas, mas também seleciona os nós mais adequados para participar do *cluster* criado. Essa estrutura bem definida melhora significativamente a taxa de entrega de pacotes e atinge maior taxa de transferência na rede, devido à sua preferência por caminhos de roteamento confiáveis, estáveis e duráveis. As métricas de roteamento também analisam a probabilidade de encaminhamento de pacotes RREQ (*Route Request*) por *hop* ao selecionar o próximo nó de encaminhamento, para construir uma estrutura de *cluster* eficiente para roteamento confiável e durável. A seguir, serão apresentadas as métricas do PassCAR e o cálculo da prioridade.

##### 3.1.1.1 Grau do nó

Estudos anteriores mostram que o grau do nó é um fator crucial que deve ser considerado na formação de *clusters* (HASHIM; SHARIFF; FADILAH, 2013). O grau de um nó é o número de nós da sua área de comunicação. Sem considerar o grau do nó, a abordagem

seria definida de forma aleatória e um nó que não tem vizinhos com o *cluster head* ou *gateway* poderia ser selecionado.

#### 3.1.1.2 Contagem de transmissão esperado

O status de ligação do canal sem fios varia com o tempo. A estabilidade de uma comunicação sem fio depende do estado do canal que está sendo utilizado. Com o PassCAR, o nó CH e *gateway* são os principais participantes de entrega de dados. Se esses nós são associados com ligações sem fios instáveis, o encaminhamento de dados provavelmente irá falhar, exigindo a retransmissão. Portanto, um nó associado com um *link* estável é candidato a CH ou *gateway*. Os pesquisadores costumam usar a contagem de transmissão esperada para medir a estabilidade de ligações sem fios (AL-RABAYAH; MALANEY, 2012).

#### 3.1.1.3 Tempo de vida do *link*

Redes sem fio altamente dinâmicas são importante para reduzir a probabilidade de queda do *link*. Se a rota descoberta consiste em ligações mais estáveis, ele vai sobreviver por mais tempo. Como resultado, a relação na entrega dos dados e no aumento na sobrecarga para manter a rota diminui. Ayaida et al., (2011), propôs uma medição, chamado de tempo de validade do enlace, para selecionar o caminho de roteamento. Considerando-se as características da VANET, este estudo modifica o tempo de validade do enlace e introduz uma métrica chamada vida do *link* (duração do tempo que dois veículos permanecem conectado).

#### 3.1.1.4 Cálculo de prioridade

O PassCAR identifica os participantes para transmitir pacotes RREQ com base na adequação de cada nó como CH ou *gateway*. O PassCAR utiliza uma prioridade, definido como uma combinação ponderada de grau nó, tempo de vida do *link* para avaliar essa adequação. Para garantir que a prioridade nó está entre 0 e 1, as métricas propostas devem ser normalizadas igual a 1 (um). Esse protocolo apresenta problemas que comprometem a escalabilidade e confiabilidade, considerando que leva apenas os veículos na mesma direção e com características estáveis, o que compromete o sistema.

### 3.1.2 Protocolo de Roteamento de Seleção Inteligente

Segundo Vegni e Natalizio (2015), o Protocolo de Roteamento de Seleção Inteligente (do inglês, *Forwarder Smart Selection Protocol for Limitation of Broadcast Storm Problem*, SRB), propõe roteamento baseado em *clusters*. O objetivo da proposta destina-se a limitar o número de transmissões por pacotes através de uma escolha oportunista de veículo. Os pacotes são retransmitidos apenas pelos veículos selecionados, de modo a reduzir o número de encaminhadores e preservar um nível aceitável de QoS.

O protocolo SRB explora o comportamento dos veículos em uma partição das redes *ad hoc*, a fim de detectar automaticamente os *clusters* de veículos por "zonas de interesse". Os pacotes são encaminhados apenas para veículos selecionados, de forma oportunista, eleitos como *cluster-heads* (CH). Segundo Vegni e Natalizio (2015), o SRB foi avaliado em diferentes cenários de veículos, principalmente ambientes realistas, como cenários urbanos e de rodovias. A limitação do problema de congestionamento de transmissões, na forma da SRB, é expressa em termos de uma redução do número de *forwarders-next-hop*. A eficácia de SRB foi também comparada com (i) protocolos de transmissão tradicional, assim com (ii) uma abordagem de divulgação baseada em conteúdo, devido à sua capacidade para determinar os conjuntos de veículos com interesses comuns.

#### 3.1.2.1 Transmissão Seletiva Confiável

O objetivo do protocolo SRB é: (i) evitar mensagens de retransmissão (isto é, uma limitação do problema de *broadcast*), e (ii) detectar aglomerados em forma automática e rápida. A abordagem proposta considera o processo de retransmissão mensagem dentro de um VANET, selecionando um número limitado de veículos, na qualidade de potenciais *forwarders-next-hop*. Longe de roteamento de *broadcast* tradicional, o protocolo SRB detecta grupos de veículos de uma forma rápida e eficiente e elege um CH para cada *cluster* detectado. O CH é, então, escolhido como o próximo encaminhador da mensagem.

O protocolo SRB aproveita dois pressupostos principais (i) que a área dos veículos está particionada em setores adjacentes e (ii) que todos os veículos estão equipados com GPS e são capazes de estimar a sua própria posição. Cada partição transmite livremente mensagens a partir

do veículo origem e são identificadas como partes de um círculo. O tamanho de cada setor é um processo dinâmico e pode variar conforme o sentido de transmissão de cada veículo.

Depois de detectar vários *clusters*, o veículo fonte elege o veículo mais distante dentro de cada *cluster*, onde o CH transmite uma mensagem apenas para esse veículo. Ao receber a mensagem, cada CH irá tornar-se a origem da mensagem para a próxima fase de contenção e, assim, o algoritmo do protocolo SRB é repetido para os próximos saltos. Esse protocolo apresenta problemas que comprometem a escalabilidade, confiabilidade, considerando que possui limitações nas retransmissões de pacotes e ainda limita o número de veículos que podem transmitir o que compromete o sistema.

### 3.2 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como ênfase apresentar alguns protocolos de roteamento baseados em *clusters* para VANETs que possam ser usados em aplicações de segurança pública (como apresentado no Capítulo 1).

A Tabela 3.1 apresenta as principais características dos protocolos de roteamento apresentados neste Capítulo. É possível concluir que nenhum dos protocolos pode atender a todos os requisitos citados anteriormente como forma de fornecer uma comunicação confiável e escalável entre os veículos, para garantir que os vídeos transmitidos tenham níveis de qualidade assegurados.

**Tabela 3.1: Características dos protocolos de roteamento baseados em *cluster***

Protocolos	Colaboartivo	Link	Velocidade	Localização	Vídeo
PASSCAR	Sim	Sim	Sim	Não	Não
SRB	sim	Não	Não	Sim	Não
CRPV	Sim	Não	Sim	Sim	Sim

Por fim, vale ressaltar que as soluções de roteamento baseadas em *cluster* é uma das melhores opções para VANETs, como já mencionado por Dua e Kumar (2014), devido à alta mobilidade dos veículos e aos problemas de queda dos *links*, onde as soluções colaborativas minimizam esses problemas.

## 4 Protocolo CRPV

Este capítulo apresenta a proposta desta tese baseada em um Protocolo de Roteamento Colaborativo para Transmissão de Vídeo em VANETs, denominado de *Collaborative Routing Protocol for Video streaming in VANETs* (CRPV). A proposta será detalhada levando em consideração as principais características e problemas das redes veiculares, além das estratégias utilizadas com as informações coletadas da gravação, da velocidade e da localização.

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em grande parte das aplicações para VANETs multimídia, não é necessário que todos os veículos do cluster compartilhem vídeos gravados de um evento, mesmo que em instantes diferentes, pois, provavelmente, informações redundantes podem ser transmitidas e, com isso, afetar o desempenho da rede. Na arquitetura proposta da computação em névoa o *cluster* terá um *gateway* colaborativo que estará conectado aos *gateways* da "névoa".

O protocolo CRPV é baseado na arquitetura de computação em névoa e, durante o processo de agrupamento dos veículos (formação do *cluster*), algumas informações são coletadas para classificar cada veículo durante a formação do cluster, de acordo com as seguintes: (i) realizar o cálculo do *gateway* colaborativo (GC) para classificar cada veículo em uma lista linear, conforme o seu indicador de qualidade do *gateway* (GQI); (ii) definir a tabela de roteamento para cada veículo do cluster na comunicação V2V, a partir dos valores do (GQI); (iii) realizar a colaboração veicular (comunicação, coordenação, cooperação) conjunta dos veículos do cluster, para diminuir a troca de vídeos desnecessária nas comunicações V2V e V2I.

O protocolo CRPV considera o veículo com o melhor GQI no *cluster* para distribuir os vídeos na comunicação V2I. Para alcançar uma grande cobertura em pouco tempo, o vídeo pode ser transmitido para usuários fixos fora das VANETs ou para outros veículos que possuem a melhor interface de rede disponível no momento. Por exemplo, RSU ou LTE, conforme ilustrado na Figura 9.

A Figura 9 representa um exemplo de uma VANET na arquitetura de uma névoa veicular, onde o veículo (v1) e o veículo (v9) possuem uma interface LTE (comunicação V2I) e também uma interface Wi-Fi (comunicação V2V). Após ocorrer um evento na Pista 2, o veículo v1, que está na Pista 1, gravou momentos do evento (explosão) e compartilhou o vídeo em *broadcast* com os vizinhos e na área da sua cobertura como os veículos (v3) e (v4).

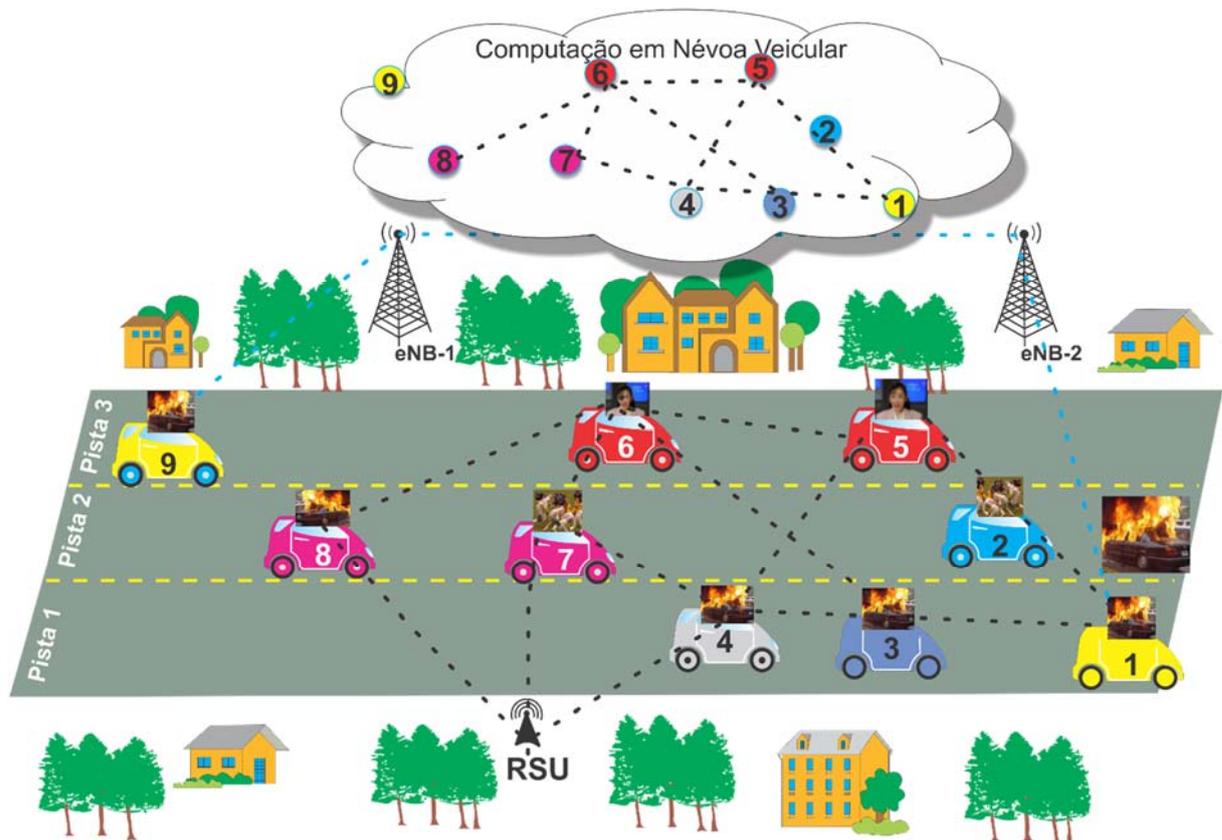


Figura 4.1 – Comunicação V2V e V2I com VFC

Os veículos (v3) e (v4), ao receberem o vídeo, também resolveram compartilhá-lo. O veículo (v3) encaminhou o vídeo para uma RSU que estava na sua proximidade, enquanto que o veículo (v4) encaminhou para outros veículos da VANETs como, por exemplo, o veículo (v6). Ainda considerando as possibilidades de comunicação do veículo (v1), que possui uma interface LTE, essas possibilidades aumentam onde o vídeo pode ser transmitido para a rede LTE e, dessa forma, dispositivos de borda e dispositivos móveis podem estar interligados dentro de uma rede local e executar colaborativamente tarefas de armazenamento, processamento de dados e de controle, nos dados da VANET.

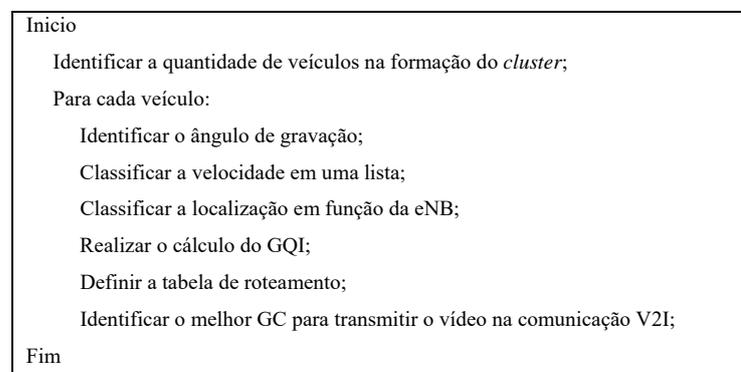
## 4.2 GATEWAY COLABORATIVO

Os *gateways* colaborativos (GC) são todos os veículos que fazem parte do *cluster*. A identificação dos veículos candidatos a GC inicia-se no momento da formação do *cluster*, onde, após a ocorrência de um evento na rodovia (acidente), as antenas de rádio dos veículos emitem mensagens de *beacons*<sup>1</sup>. As mensagens seguem as especificações para o ambiente WAVE do padrão IEEE 1609 (GRÄFLING; MÄHÖNEN; RIIHIJÄRVI, 2010), descrito no Capítulo 2.

O padrão IEEE P1609.2 (KUMAR; WHYTE, 2015) define formatos e processamento de mensagens seguras, além de definir também as circunstâncias nas quais essas mensagens devem ser usadas e processadas. Este padrão define a utilização de ferramentas de segurança tradicionais, como Infraestrutura de Chaves Públicas (PKI) e certificação e, por exemplo, como a chave pública de um usuário é usada para criptografar uma mensagem ou como é realizada a autenticação do usuário, sem anonimato (RAZZAQUE; SALEHI; CHERAGHI, 2013). Como as ferramentas de segurança e autenticação não foram utilizadas no processo de desenvolvimento do algoritmo, as mesmas não serão tratadas no restante desta tese.

## 4.3 O ALGORITMO DO PROTOCOLO CRPV

Para a identificação do GC, foi criado um algoritmo conforme ilustra a Figura 4.2 que realiza o cálculo do GQI para cada veículo do *cluster*, onde são utilizadas algumas métricas como: o ângulo de gravação dos veículos que estão no *cluster*, para classificar a região de interesse em função do evento ocorrido; a velocidade de cada veículo do *cluster*, para determinar o tempo de permanência do veículo em uma célula LTE e; a localização de cada veículo do *cluster* em função da eNB.



**Figura 4.2 – Lógica do Algoritmo do Protocolo CRPV**

<sup>1</sup> Pacotes de controle que delimitam quadros utilizados para sincronizar os demais dispositivos da rede.

Após a ocorrência de um evento detectado pelo sensor da câmera veicular, o algoritmo do protocolo CRPV inicia sua execução, identificando o número de veículos disponíveis para a formação do *cluster*. Durante a formação do *cluster*, cada veículo já possui o seu GQI calculado, pois este indicador será usado para a formação da tabela de roteamento em cada *gateway* colaborativo. Uma tabela de roteamento dinâmica é construída a partir das informações trocadas entre cada veículo durante a formação do *cluster*. Entre estas informações está o GQI, que é dinamicamente usado como um parâmetro nas rotas para refletir as mudanças nas condições da rede.

O protocolo CRPV pode resolver situações complexas de roteamento em VANETS de maneira mais rápida e eficiente. O veículo em que há várias rotas alternativas para um destino com o melhor GQI, pode alternar para uma outra rota quando a principal ficar indisponível, sempre considerando os parâmetros do GQI. Finalmente, a transmissão de vídeo do GC com o melhor GQI para uma rede V2I é executada. O protocolo de roteamento colaborativo CRPV é dividido em três fases conforme Figura 4.3.

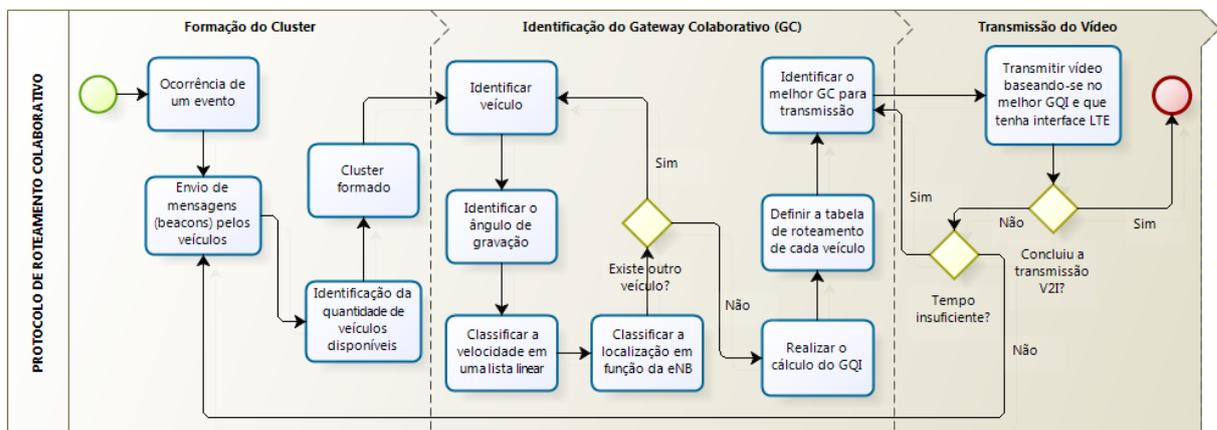


Figura 4.3 – Diagrama do Algoritmo do Protocolo CRPV

A primeira fase corresponde à identificação da quantidade de veículos para formação do *cluster*. A segunda fase corresponde à realização do cálculo do GQI para identificação do GC. Por fim, a terceira fase corresponde à transmissão do vídeo a partir do GC com o melhor GQI para uma rede LTE, ou comunicação V2I.

### 4.3.1 Formação do *Cluster*

Os *clusters* são formados após a ocorrência de um evento detectado pelos sensores da câmera do veículo. Neste momento as antenas de rádio dos veículos emitem mensagens de *beacons*, para identificar a quantidade de veículos disponíveis em uma determinada região para formação do *cluster*. Os veículos que retornarem a mensagem pela mesma frequência farão parte da formação do *cluster*. A faixa de frequência é dividida em canais de 10 MHz cada. A Tabela 4.1 apresenta todos os parâmetros do IEEE 802.11p (LI, 2012).

**Tabela 4.1: Especificações da camada física do padrão IEEE 802.11p**

Parâmetro	WAVE
Faixa de Frequência	5,9 GHz
Largura de Canal	10 MHz
Taxa de Transmissão (Mbps)	3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24 e 27
Modulação	BPSK, QPSK, 16QAM e 64QAM
Codificação do Canal	Taxa de codificação convolucional: 1/2, 2/3 e 3/4

Através do agrupamento de veículos, alguns parâmetros são coletados para classificar cada veículo durante a formação dos *clusters*. Os chefes dos *clusters* são classificados e escolhidos de acordo com o seu GQI, que é calculado de acordo com os parâmetros coletados a partir do ângulo de gravação, velocidade e localização do veículo.

No padrão IEEE 802.11p definiu-se um canal exclusivo para controle das comunicações (CCH) e os outros canais serão utilizados para diferentes categorias de serviços da rede (SCH). O CCH é reservado para transferência de mensagens de *beacons* de alta prioridade ou dados de gerenciamento, enquanto outros tipos de dados são transmitidos nos SCHs.

A camada controle de acesso ao meio (MAC) do protocolo IEEE 802.11p é baseado no padrão IEEE 802.11e (VANDENBERGHE; MOERMAN; DEMEESTER, 2011). O protocolo utiliza o método *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA) com extensão de Qualidade de Serviço (QoS). Esse esquema é similar ao padrão IEEE 802.11 CSMA/CA denominado *Distributed Coordination Function* (DCF). O EDCA pode diferenciar 4 tipos de categorias de aplicação: tráfego em segundo plano (*background traffic* - BK), tráfego de melhor esforço (*best effort traffic* - BE), tráfego de voz (VO) e tráfego de vídeo (VI). A

Tabela 4.2 apresenta uma adequação das categorias de aplicações do EDCA para serem utilizadas em redes veiculares (RAWAT et al., 2011).

**Tabela 4.2: Equivalência de priorização de mensagens em VANETs**

<b>Prioridade (tráfego do EDCA)</b>	<b>Tipos de Mensagem para VANET</b>
Prioridade 1 (Tráfego de Voz - Classe de Acesso 3)	Notificação de acidentes, Mensagens de veículos de emergência (polícia, ambulâncias, bombeiros, etc).
Prioridade 2 (Tráfego de Vídeo - Classe de Acesso 2)	Mensagens de indicação de acidente eminente.
Prioridade 3 (Tráfego de Melhor Esforço ( <i>best effort</i> ) - Classe de Acesso 1)	Mensagens de condições climáticas, condições das estradas e mensagens de alerta (ex: área escolar à frente, lombada a frente, etc.)
Prioridade 4 (Tráfego de segundo plano ( <i>background</i> ) - Classe de Acesso 0)	Outras mensagens em geral.

Cada categoria de aplicação ou Classe de Acesso (*Access Class - AC*) possui uma janela de contenção variável e número arbitrário de espaço entre quadros – *Arbitration Inter Frame Space Number (AIFS)*, conforme mostrado na Tabela 4.3 (MIAO et al., 2012). Essas variáveis são responsáveis por permitir priorização de serviços e, conseqüentemente, prover qualidade de serviço na rede.

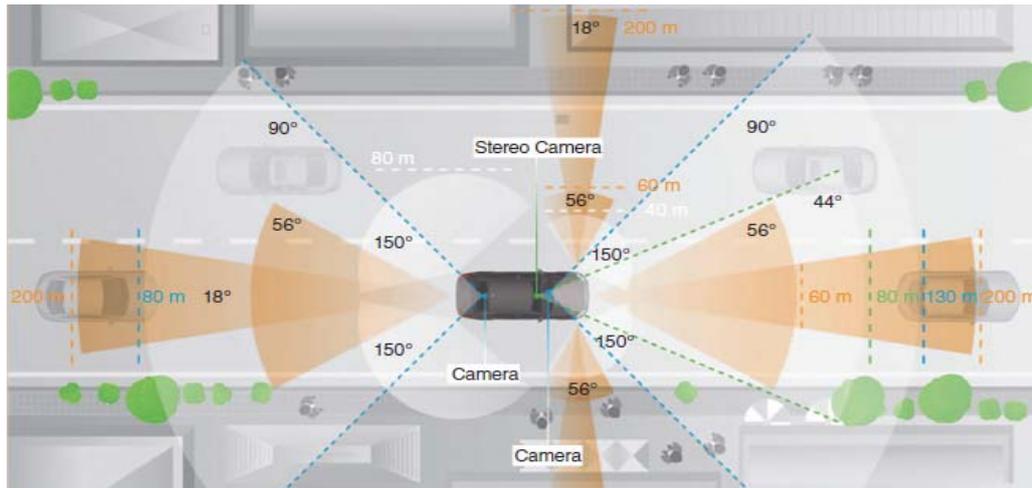
**Tabela 4.3: Parâmetros Específicos de Priorização de Mensagens**

<b>AC</b>	<b>Janela de Contenção mínima (CW<sub>min</sub>)</b>	<b>Janela de Contenção máxima (CW<sub>max</sub>)</b>	<b>AIFS</b>
3	3	7	2
2	7	15	3
1	15	1023	6
0	15	1023	9

O padrão IEEE 802.11p não possui autenticação e associação nas camadas MAC e física, pois esses métodos do padrão IEEE 802.11 demoram um tempo elevado, tornando inviável aplicá-los em redes veiculares (BOOYSEN; ZEADALLY; ROOYEN, 2011).

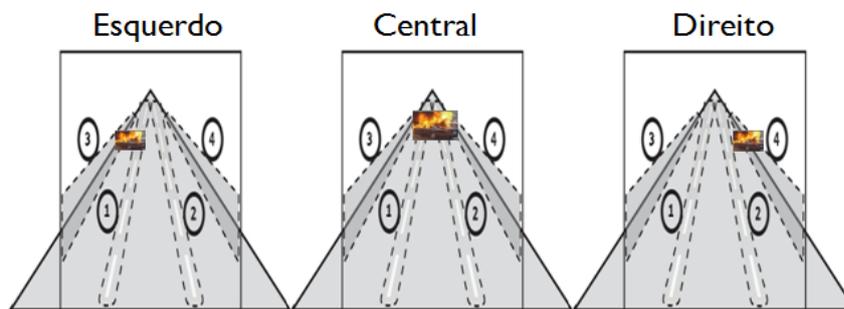
### 4.3.2 Ângulo de Gravação

O objetivo de identificar o ângulo de gravação do vídeo é gerar uma informação denominada de região de interesse, que será levado em consideração como um dos parâmetros no cálculo do GQI. Na Figura 4.4, são identificadas possibilidades de ângulos de gravação de um veículo equipado com câmeras automotivas no interior do veículo (ZIEGLER et al., 2014).



**Figura 4.4 – Ângulo de Gravação.**  
Fonte: (ZIEGLER et al., 2014).

A região de interesse será identificada após análise do evento gravado (acidente) em função da posição da câmera de gravação. Na Figura 4.5, são ilustradas três possibilidades de região de interesse em função da posição da câmera automotiva (SIVARAMAN; TRIVEDI, 2013).



**Figura 4.5 – Região de Interesse**

Para identificar a posição do evento (acidente) em relação à posição da câmera veicular, foi considerado neste trabalho o ângulo máximo de 180° para uma visão frontal, identificado com as faixas (1) e (2). Os ângulos foram divididos em região central como 90°

e região lateral como 45° cada, levando em consideração o lado esquerdo o mesmo é identificado pelas faixas (1) e (3) e o lado direito é identificado pelas faixas (2) e (4).

No processo de investigação para delimitação da região de interesse foram consideradas neste trabalho informações reais gravadas como a câmera veicular, F800PRO da *Thinkware* que através do sensor de movimento registra no vídeo gravado informações da área gravada, conforme ilustrado na Figura 4.6.



**Figura 4.6 – Região de Interesse Central**

Fonte: (ZIEGLER et al., 2014).

Com o vídeo gravado de um evento, é possível identificar as informações do ângulo de gravação da região de interesse em cada um dos *frames*, ilustrados na Figura 4.7.



**Figura 4.7 – Região de Interesse por Cada Faixa da Pista**

Fonte: (ZIEGLER et al., 2014).

As Figura 4.7(a), 4.7(b), 4.7(c) representa o momento da gravação nos instantes (t1), (t2) e (t3), quando o evento representa 15%, 85% e 48% dos frames da região de interesse do ângulo de gravação, respectivamente.

Analisando os *frames* por percentual de gravação, o ângulo de gravação foi caracterizado e priorizado por intervalos de percentual de gravação neste trabalho, conforme Tabela 4.4, que ilustra o percentual e sua prioridade.

**Tabela 4.4: Parâmetros de Prioridade da Região de Interesse**

Ângulo de Gravação	80% a 100%	79% a 40%	0% a 39%
Prioridade de Transmissão	3	2	1

Analisando os valores da prioridade de transmissão do vídeo, quanto maior o percentual gravado identificado nos *frames*, maior serão estas. Considerando o tempo de processamento na análise dos vídeos gravados, foram utilizados apenas três intervalos de prioridades conforme tabela 4.5 para definição das possibilidades da região de interesse, em função da posição da câmera veicular (central, lateral a esquerda e lateral a direita).

### 4.3.3 Velocidade dos Veículos

Segundo Kakarla et al., (2011) e Bali et al., (2014), os protocolos de roteamento baseados em *cluster*, *broadcast* e *geocast* utilizam informações do ambiente e da aplicação em suas decisões. Em geral, todos oferecem a possibilidade de comunicação roteada entre os veículos, desde que exista a possibilidade de uma rota para o tráfego da informação, formada por uma sequência de veículos, que estejam ao alcance da comunicação.

Segundo Karagiannis et al., (2011), os protocolos para VANETs utilizam, como exemplo, a distância entre os veículos, a velocidade e direção dos veículos, as condições de vizinhança, a capacidade do sinal de comunicação, entre outros, para definir o modo de transmissão de suas mensagens fim-a-fim e prover alguma confiança na entrega e no prazo desejados.

Como o IEEE 802.11p consegue garantir transmissão de dados em nós que se movem com uma velocidade de até 200 km/h (REYES et al., 2014). As informações de velocidades dos veículos foram parametrizadas neste trabalho em intervalos conforme Tabela 4.5.

**Tabela 4.5: Parâmetros de Prioridade da Velocidade**

Km/h	Menor que 20	De 20 a 39	De 40 a 59	De 60 a 79	De 80 a 99	Maior que 100
Prioridade	6	5	4	3	2	1

Analisando os parâmetros da prioridade nas informações de velocidade de cada veículo, considerou-se que, quanto menor a velocidade do veículo, maior a prioridade para uma comunicação V2V e maior o tempo de permanência em um celular LTE na comunicação V2I.

#### 4.3.4 Localização dos Veículos

Segundo Elazab et al., (2017), os veículos equipados com GPS utilizam informações de satélites para calcular suas localizações. A imprecisão, mesmo que pequena, dos aparelhos de GPS influenciam nos resultados dos protocolos de roteamento que utilizam informações de localização para tomada de decisão. Às vezes, os veículos recebem informações que estão em uma pista, mas na verdade estão em outra, o que tem grande impacto no momento da formação do *cluster* e das rotas em uma VANETs.

Segundo Kuo e Fang (2013), o impacto de erros de posicionamento em VANETs ainda é pouco explorado. Ainda segundo os autores, os erros aumentam a complexidade computacional de protocolos e modelos de mobilidade e, no geral, os erros de GPS influenciam diretamente nos cálculos para determinar os saltos entre os veículos. Considerando a Figura 4.8, percebe-se que a área de cobertura de uma eNB, não é trafegada por toda a área de cobertura da sua célula.



**Figura 4.8 – Área de cobertura de uma eNB**

Na área de cobertura da eNB-1 percebe-se que os veículos trafegam em pontos de localização diferente na célula, assim como na eNB-2 e eNB-3. Desta forma, neste trabalho dividiu-se uma área de cobertura de uma eNB em setores conforme Figura 4.9. A área de cobertura de uma célula foi dividida em 6 setores que, dependendo da localização do veículo, terá uma prioridade (BEZERRA et al., 2012).

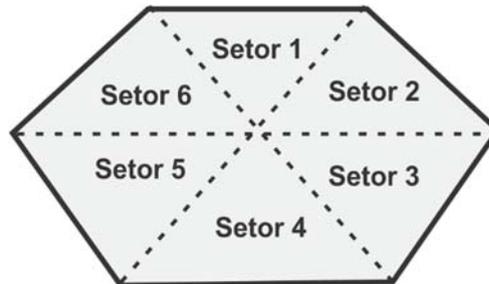


Figura 4.9 – Setores de uma área de uma eNB.

Assim, a área de cobertura de uma eNB foi dividida em 6 setores, considerando o tráfego de veículos da esquerda para a direita (sentido único), conforma Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Parâmetros de Prioridade da Localização por Setor

Localização	Setores 5 e 6	Setores 1 e 4	Setores 2 e 3
Prioridade	3	2	1

Fazendo uma análise da localização por setor e considerando que todos os veículos estão com velocidade constante, conclui-se que veículos localizados nos setores (5) e (6) irão demorar mais tempo para sair da área de cobertura de uma eNB e, dessa forma, terá uma boa localização no momento do cálculo do GQI, ou seja, neste trabalho o parâmetro da localização é utilizado em função da eNB e não de informações do GPS.

### 4.3.5 Cálculo do GQI

Para analisar o impacto das variações entre os parâmetros do ângulo de gravação, velocidade e localização do veículo em função da eNB, é realizado o cálculo do Indicador de Qualidade do Gateway (CGI) (BEZERRA et al., 2019). Para compreender os parâmetros dos pesos utilizados no cálculo do GQI, utilizou-se um *benchmarking* para entender o banco de dados de informações geradas na rede veicular. Trinta consultas foram definidas, considerando as taxas de utilização do processador e do disco. Essas consultas foram separadas em grupos de acordo com os parâmetros usados para calcular o GQI.

Após comparar o desempenho das diversas consultas de dados no cenário para 50, 100 e 150 veículos, foi identificado o tempo médio ponderado da consulta das informações do ângulo de gravação em um arquivo de vídeo de 0,05023 (centésimos de segundos), da consulta das informações da velocidade em um arquivo de vídeo de 0,03165 (centésimos de segundos) e a consulta das informações de localização em um arquivo de vídeo de 0,01812 (centésimos de segundos). Desta forma, considerou-se que 50% do tempo é utilizado na consulta e análise das informações do vídeo, 30% do tempo é utilizado na consulta e análise das informações da velocidade dos veículos e que 20% do tempo é utilizado na consulta e análise das informações de localização dos veículos (BEZERRA et al., 2019). Os valores para cada um dos parâmetros estão listados na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7a: Estudo do *Benchmark* – vídeo**

<b>Informações</b>	<b>50 veículos</b>	<b>100 veículos</b>	<b>150 veículos</b>
Consulta 1	0,00910	0,05400	0,08758
Consulta 2	0,00907	0,05398	0,08762
.....	0,00911	0,05407	0,08756
Consulta 30	0,00909	0,05394	0,08761
<b>Tempo Médio</b>	<b>0,05023</b>		

**Tabela 4.7b: Estudo do *Benchmark* – velocidade**

<b>Informações</b>	<b>50 veículos</b>	<b>100 veículos</b>	<b>150 veículos</b>
Consulta 1	0,00533	0,03815	0,05147
Consulta 2	0,00539	0,03811	0,05142
.....	0,00536	0,03818	0,05145
Consulta 30	0,00537	0,03817	0,05143
<b>Tempo Médio</b>	<b>0,03165</b>		

**Tabela 4.7c: Estudo do *Benchmark* – localização**

<b>Informações</b>	<b>50 veículos</b>	<b>100 veículos</b>	<b>150 veículos</b>
Consulta 1	0,00387	0,01318	0,03735
Consulta 2	0,00381	0,01311	0,03739
.....	0,00379	0,01322	0,03733
Consulta 30	0,00383	0,01325	0,03736
<b>Tempo Médio</b>	<b>0,01812</b>		

Com bases nas prioridades apresentadas e após os testes de *benchmarking*. Os valores “peso” para cada um dos parâmetros (vídeo, velocidade e localização), são apresentados na tabela 4.8.

**Tabela 4.8: Pesos dos Parâmetros do Vídeo, Velocidade e Localização**

<b>Parâmetros</b>	<b>Vídeo</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Localização</b>
<b>Pesos</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>

Vamos considerar que  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  representam os valores ponderados correspondente ao vídeo, velocidade e localização, respectivamente, onde  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ . O GQI pode ser representando conforme Equação 4.1:

$$GQI = \alpha (P_{\text{vídeo}}) + \beta (P_{\text{velocidade}}) + \gamma (P_{\text{localização}}) \quad (4.1)$$

Onde:

$$\begin{array}{l} \text{Parâmetros do Vídeo (} p_{\text{vídeo}} \text{ ou } \mathbf{a} \text{)} = \quad (3, 2, 1) \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \downarrow \downarrow \downarrow \\ \text{Posições do } \mathbf{x} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 1 \ 2 \ 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Parâmetros do Velocidade (} p_{\text{velocidade}} \text{ ou } \mathbf{b} \text{)} = \quad (6, 5, 4, 3, 2, 1) \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \\ \text{Posições do } \mathbf{y} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Parâmetros da Localização (} p_{\text{localização}} \text{ ou } \mathbf{c} \text{)} = \quad (3, 2, 1) \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \downarrow \downarrow \downarrow \\ \text{Posições do } \mathbf{z} \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 1 \ 2 \ 3 \end{array}$$

Considerando o sistema com três variáveis ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), representou-se a solução por um sistema linear com atribuição de números às variáveis que satisfaz simultaneamente todas as equações do sistema, como a Equação 4.2:

$$GQI = \alpha \begin{pmatrix} a1 \\ a2 \\ a3 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} b1 \\ b2 \\ b3 \\ b4 \\ b5 \\ b6 \end{pmatrix} + \gamma \begin{pmatrix} c1 \\ c2 \\ c3 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Um sistema de equações vetoriais com “m” equações lineares e com “n” incógnitas pode ser representada em sua forma geral, conforme Equação 4.3:

$$GQI = \alpha \sum_{\substack{i=1 \\ j=x}}^3 ai + \beta \sum_{\substack{i=1 \\ j=y}}^6 bi + \gamma \sum_{\substack{i=1 \\ j=z}}^3 ci \quad (4.3)$$

Para conhecer os valores do GQI Máximo e GQI Mínimo, utilizou-se dois exemplos para aplicação da fórmula no cálculo do GQI Máximo e GQI Mínimo.

**Exemplo 1 (GQI Máximo):**

$p_{\text{vídeo}}$ : 3

$p_{\text{velocidade}}$ : 6

$p_{\text{localização}}$ : 3

$$\text{GQI} = 0,5*3 + 0,3*6 + 0,2*3 = 1,5 + 1,8 + 0,6 = 42/10 = \mathbf{3,9 \text{ (valor máximo do GQI)}}$$

**Exemplo 2 (GQI Mínimo):**

$p_{\text{vídeo}}$ : 1

$p_{\text{velocidade}}$ : 1

$p_{\text{localização}}$ : 1

$$\text{GQI} = 0,5*1 + 0,3*1 + 0,2*1 = 0,5 + 0,3 + 0,2 = \mathbf{1,0 \text{ (valor mínimo do GQI)}}$$

Após obter conhecimentos dos valores máximos e mínimos do GQI de cada veículo, coloca-se todos em uma lista linear para posteriormente definir a tabela de roteamento para cada veículo no *cluster* da VANET.

#### 4.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como ênfase apresentar o protocolo de roteamento proposto, denominado CRPV. Foram abordadas as principais características do CRPV, além da formação do *cluster*, onde todos os veículos podem ser *gateways* colaborativos e trocar informações de vídeos na comunicação V2V e V2I. Também foram levadas em consideração os parâmetros de ângulo de gravação da região de interesse e, a velocidade e localização. O cálculo do GQI foi demonstrado para definição da tabela de roteamento de cada veículo, e foi utilizada para selecionar os veículos com melhores possibilidades de comunicação, V2V e V2I na VANET multimídia.

## 5 AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO CRPV

Este capítulo faz a descrição do estudo de caso pelo qual o CRPV foi analisado. Além disso, apresenta a metodologia utilizada nas simulações para avaliar o desempenho os impactos e os benefícios do protocolo CRPV. Foram analisados os parâmetros do protocolo mais adequados para o cenário adotado, quanto à disseminação de conteúdo multimídia em uma rodovia. Métricas de QoS e métricas de QoE foram utilizadas para analisar a qualidade do vídeo transmitido na rede.

### 5.1 METODOLOGIA

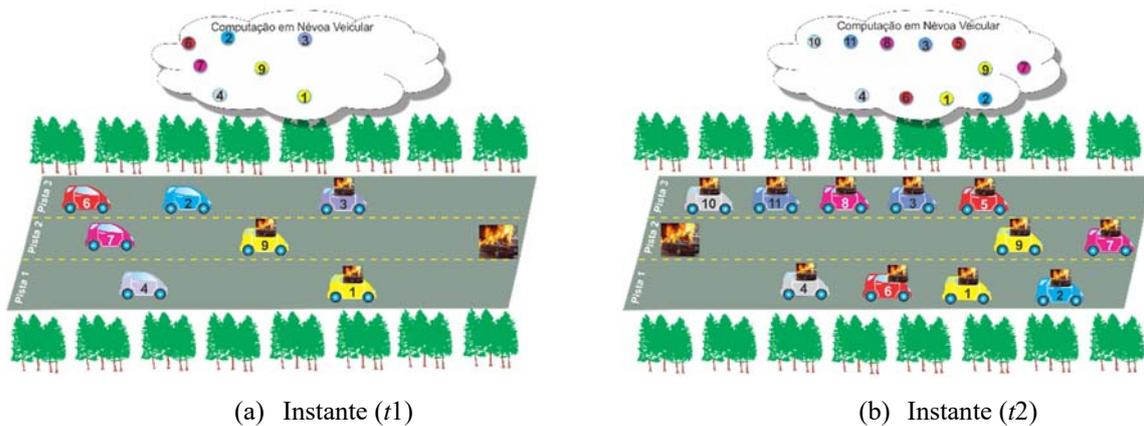
A metodologia utilizada para a avaliação e validação do protocolo CRPV é baseada na utilização de um simulador de eventos discretos. Nesta tese foi utilizado o simulador de redes *Network Simulator* NS3 (RILEY; HENDERSON, 2010). Como o NS3 não possui suporte para gerar modelos de mobilidade veicular, foi utilizado também o Simulador de Mobilidade Urbana (do inglês, *Simulation of Urban MObility*, SUMO) (KRAJZEWICZ et al., 2012). O NS3 também não possui a capacidade de envio de conteúdo multimídia, por tanto foi necessária a utilização do *framework Evalvid* (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003) para realizar as transmissões dos vídeos.

Dentre todos os simuladores de rede analisados no início das pesquisas, a escolha foi feita levando-se em consideração que o NS3 é um simulador de rede amplamente utilizado, de código aberto, gratuito e que suporta o padrão IEEE 802.11p e LTE. O simulador de mobilidade SUMO foi escolhido porque é de código aberto e capaz de simular deslocamentos reais de veículos. Este simulador de mobilidade também é amplamente utilizado em outros trabalhos que abordam redes veiculares. Para a correta realização dos trabalhos de simulações, o refinamento e finalização do código-fonte foram realizados, manipulando diretamente os arquivos fonte nas linguagens C++ do NS-3. As ferramentas descritas foram utilizadas em conjunto durante simulações.

As simulações foram realizadas para avaliar o comportamento do padrão IEEE 802.11p em VANETs multimídia. A arquitetura híbrida 802.11p e LTE foram adotadas, considerando ser o mais próximo do real, devido às limitações de cobertura nas comunicações V2V. A

implantação de RSU pelas rodovias teria um alto custo em cenários reais e, dessa forma, optou-se por utilizar a infraestrutura disponível das operadoras de telefonia móvel. Para viabilizar as comunicações V2V, a camada física foi configurada no NS3 de acordo com as especificações do padrão IEEE 802.11p, com raio de alcance de cada veículo limitado a 500 metros conforme Ghafoor et al., (2015), e, para a comunicação V2I, utilizou-se as especificações do padrão LTE disponíveis no NS3.

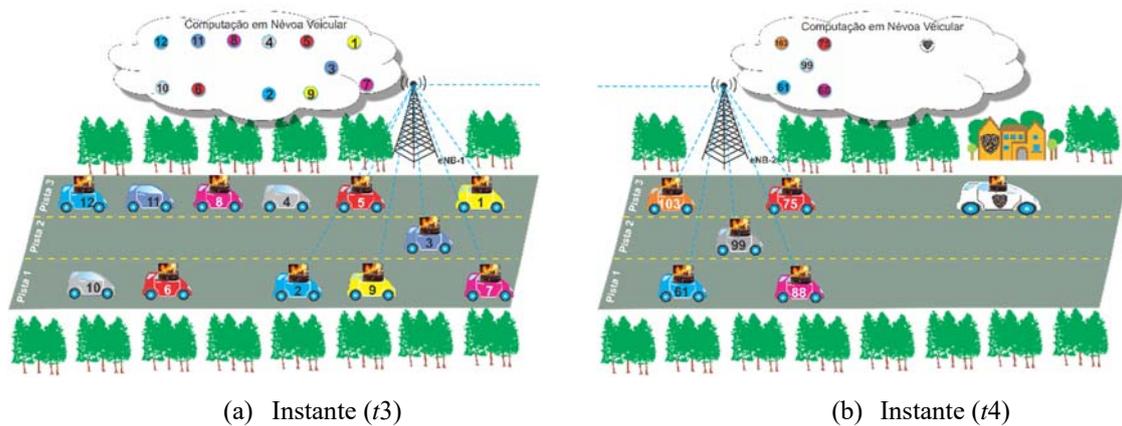
Os veículos também foram previamente identificados com características para comunicações V2V e V2I e para encaminhar vídeos gravados para outros veículos nas proximidades após a ocorrência de um evento. A Figura 5.1 representa o momento em que veículos estão em uma determinada localização da rodovia quando acontece um acidente.



**Figura 5.1 – Cenário de VANET com Fog.**

Na Figura 5.1(a), ao detectar um acidente, os veículos (v1), (v9) e (v3) equipados com câmeras veiculares iniciam o processo de gravação do evento. Na Figura 5.1(b), ao passarem pelo acidente, diversos outros veículos também irão possuir vídeos do evento ocorrido, que pode ter sido gravado pela câmera ou pode ter sido recebido através de uma comunicação V2V. Porém, todos os veículos que possuem interface LTE querem transmitir o vídeo para agentes de segurança pública e devido à falta de cobertura de uma rede LTE, não é possível realizar a transmissão através de uma comunicação V2I naquele momento.

Após alguns instantes como é ilustrado na Figura 5.2, os veículos que possuem interface LTE (v1), (v2), (v3), (v5), (v7) e (v9) detectam o sinal de uma eNB nas suas proximidades e, neste momento, estes veículos iniciam a transmissão, gerando um tráfego desnecessário na comunicação V2I.

(a) Instante ( $t_3$ )(b) Instante ( $t_4$ )**Figura 5.2 – Cenário de Comunicação V2I com Fog.**

Analisando a situação ilustrada na Figura 5.2(a), ao iniciar uma comunicação V2I, o vídeo pode ser transmitido por todos os veículos que possuem interface LTE para a eNB-1 e em pouco tempo, como ilustrado na Figura 5.2(b), um posto da Polícia Rodovia recebe vários vídeos do mesmo evento pela eNB-2. Diante deste cenário e desta aplicação é que são levantados os problemas para este tipo de transmissão e as soluções com o protocolo CRPV são apresentadas.

Se todos os veículos com interface LTE tentarem transmitir ao mesmo tempo o mesmo vídeo, haverá um *overhead*<sup>1</sup> no sistema e não tera como garantir que o vídeo com a melhor região de interesse tenha sido transmitido. Neste cenário, os veículos estão com velocidades que variam de 10 a 100 km/h.

Os experimentos são restritos a uma distância percorrida de 10km. A densidade de veículos é ajustada para três cenários de simulações com 50, 100 a 150 veículos. Cada veículo gera mensagens de *beacons* de 0,5s com tamanho de pacote de até 1024 *bytes*. A taxa de dados pode chegar até 6Mb/s e o alcance de transmissão até 500m. Estes parâmetros são sugeridos por vários estudos (GHAFOR et al., 2015). Além disso, a propagação de rádio Nakagami é utilizada na camada física para calcular as características do desvanecimento de canais em redes sem fio veicular (MARTINEZ et al., 2013). Muitos pesquisadores recomendam este modelo devido considerar comunicação móvel em ambientes de tempo real (VIRIYASITAVAT et al., 2015).

<sup>1</sup> Qualquer processamento ou armazenamento em excesso.

Foram realizadas um total de 30 simulações, o tempo de execução em cada simulação foi de 500s com intervalos de confiança de aproximadamente 95%. Para viabilizar as comunicações V2V e a comunicação V2I, utilizou-se os parâmetros da tabela 5.1.

**Tabela 5.1 Parâmetros utilizados nas simulações desta tese**

Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Densidade do Tráfego	50 veículos	100 veículos	150 veículos
Formação do <i>Cluster</i>	15 veículos		
Network Simulator	NS-3		
Modelo de Mobilidade	SUMO-MOVE		
Distância Percorrida	10 km		
Sentido da pista	Único		
Quantidade de pistas	3		
Velocidade dos veículos	De 10km/h a 110km/h		
Tempo de Simulação	500s		
Taxa Suportada	Até 6Mbps		
Camadas PHY e MAC	802.11p		
Modelo de Propagação	Nakagami		
Quantidade de eNB	2		
Interface X2	Sim		
Camadas PHY e MAC	LTE		
Frequência	OFDM		
Faixa de Transmissão	500m		
$\alpha$ (vídeo)	$p_{\text{vídeo}}$		
$\beta$ (velocidade)	$p_{\text{velocidade}}$		
$\gamma$ (localização)	$p_{\text{localização}}$		
Sequência do vídeo	Ângulos (Pista 1, Pista 2, Pista 3)		
Codificação do vídeo	MPEG-4		
Formato	720 x 480		
Taxa de frame	24 fps		
Group of Picture	14		
Número de frames de vídeo	300		
Pacotes (1024 bytes)	353		
Fonte do Vídeo	Veículo com maior $\alpha$ (vídeo)		
Destino do Vídeo	Veículo com maior GQI		

Após a formação do *cluster*, o *gateway* colaborativo que possuir o maior índice  $\alpha$  (vídeo) será a fonte do fluxo e o destino será o *gateway* colaborativo que possuir o maior GQI na comunicação V2I. Foram utilizados três cenários com densidades de 50, 100 e 150 veículos, para analisar a escalabilidade do protocolo CRPV e a região de interesse dos vídeos transmitidos. Também foi considerado que a fonte e o destino do vídeo são veículos diferentes. Para a formação do *cluster*, as seguintes informações foram identificadas para cada veículo, conforme Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Características dos veículos

Veículos	Câmera	Interface LTE (4G)
V1, V4, V5, V7	Sim	Não
V2, V6	Não	Sim
V3, V14	Não	Não
V8, V9, V10, V11, V12, V13, V15	Sim	Sim

A identificação dos veículos candidatos a GC inicia-se no momento da formação do *cluster*, quando após a ocorrência de um evento na rodovia (acidente), as informações armazenadas serão levadas em consideração para o cálculo do GQI.

Para manter a consistência dos dados armazenados, pacotes de atualização pela rede são enviados para cada veículo do *cluster* da rede, onde todos podem colaborar entre si em uma comunicação V2V. Porém, apenas os veículos com interfaces LTE podem transmitir em comunicação V2I. Como já foi mencionado, todos os membros do *cluster* são GC e podem colaborar entre si para que os vídeos com melhor ângulo de gravação da região de interesse, sejam transmitidos pelos GC com interface LTE.

O protocolo CRPV, quando comparado com outros protocolos baseados em *cluster* para a formação da tabela de roteamento, leva algumas vantagens, pois considera que todos os veículos que responderem a mensagem após ocorrência de um evento são candidatos a GC, enquanto que outros protocolos obrigatoriamente encaminham os pacotes por um CH e este os direciona para um *gateway* que fará com que os pacotes cheguem até o nó destino em algum outro *cluster*. O que caracteriza a desvantagem desses protocolos baseados em CH é que, com a mobilidade dos nós, o CH pode estar sempre sofrendo alterações. Isso faz com que atrasos ocorram no envio dos pacotes. A Tabela 5.3 representa as informações coletadas dos veículos.

Tabela 5.3: Informações dos Veículos do Cluster

Veículos	LTE	Região de Interesse (Vídeo)	Velocidade	Localização
V1	Não	Ângulo Lateral Direito	< 20	Setor 5
V2	Sim	Não	>100	Setor 5
V3	Não	Não	20 a 39	Setor 5
V4	Não	Ângulo Lateral Esquerdo	80 a 99	Setor 5
V5	Não	Ângulo Lateral Esquerdo	40 a 59	Setor 5
V6	Sim	Não	60 a 79	Setor 5
V7	Não	Ângulo Lateral Direito	60 a 79	Setor 5
V8	Sim	Ângulo Lateral Esquerdo	40 a 59	Setor 5
V9	Sim	Ângulo Lateral Direito	80 a 99	Setor 5
V10	Sim	Ângulo Lateral Esquerdo	20 a 39	Setor 4
V11	Sim	Ângulo Lateral Esquerdo	>100	Setor 4
V12	Sim	Ângulo Central	80 a 99	Setor 4
V13	Sim	Ângulo Lateral Direito	< 20	Setor 3
V14	Não	Não	40 a 59	Setor 3
V15	Sim	Ângulo Lateral Esquerdo	60 a 79	Setor 3

Após armazenamento das informações pelo algoritmo do protocolo CRPV, cálculo do GQI é iniciado para classificar cada veículo e, posteriormente, definir a sua tabela de roteamento. A Tabela 5.4 apresenta os resultados dos cálculos do GQI.

Tabela 5.4: Resultados do Cálculo do GQI

Veículos	LTE	Vídeo	Velocidade	Localização	GQI
v1	Não	$2 * 0.5 = 1$	$6 * 0.3 = 1.8$	$3 * 0.2 = 0.6$	3.4
v2	Sim	0	$1 * 0.3 = 0.3$	$3 * 0.2 = 0.6$	0.9
v3	Não	0	$5 * 0.3 = 1.5$	$3 * 0.2 = 0.6$	2.1
v4	Não	$1 * 0.5 = 0.5$	$2 * 0.3 = 0.6$	$3 * 0.2 = 0.6$	1.7
v5	Não	$1 * 0.5 = 0.5$	$4 * 0.3 = 1.2$	$3 * 0.2 = 0.6$	2.3
v6	Sim	0	$3 * 0.3 = 0.9$	$3 * 0.2 = 0.6$	1.5
v7	Não	$2 * 0.5 = 1.0$	$3 * 0.3 = 0.9$	$3 * 0.2 = 0.6$	2.5
v8	Sim	$1 * 0.5 = 0.5$	$4 * 0.3 = 1.2$	$3 * 2 = 0.6$	2.3
v9	Sim	$2 * 0.5 = 1.0$	$2 * 0.3 = 0.6$	$3 * 0.2 = 0.6$	2.2
v10	Sim	$1 * 0.5 = 0.5$	$5 * 0.3 = 1.5$	$2 * 0.2 = 0.4$	2.4
v11	Sim	$1 * 0.5 = 0.5$	$1 * 0.3 = 0.3$	$2 * 0.2 = 0.4$	1.2

v12	Sim	$3 * 0.5 = 1.5$	$2 * 0.3 = 0.6$	$2 * 0.2 = 0.4$	2.5
v13	Sim	$2 * 0.5 = 1.0$	$6 * 0.3 = 1.8$	$1 * 0.2 = 0.2$	3.0
v14	Não	0	$4 * 0.3 = 1.2$	$1 * 0.2 = 0.2$	1.4
v15	Sim	$1 * 0.5 = 0.5$	$3 * 0.3 = 0.9$	$1 * 0.2 = 0.2$	1.6

Após os cálculos do GQI para cada veículo do *cluster*, foi identificado que o veículo (v13) possui o melhor GQI com valor igual a (3,0) entre os veículos com interface LTE. Na Tabela 5.5, e apresentada a tabela de roteamento para cada veículo do *cluster*.

**Tabela 5.5: Tabela de roteamento para cada veículo do *cluster***

Veículos	GQI	LTE	R1	R2	R3	R4	R5
v1	3.4	Não	v7	v6	v2		
V13	3.0	Sim	v12	v9	v15		
V12	2.5	Não	v13	v8	v9	v15	v11
V7	2.5	Não	v1	v9			
V10	2.4	Não	v8	v5	v4	v11	
V8	2.3	Sim	v12	v10	v5	v9	v6
V5	2.3	Não	v10	v8	v2		
V9	2.2	Sim	v13	v12	v7	v8	v6
V3	2.1	Sim	v4	v2			
V4	1.7	Sim	v10	v3			
V15	1.6	Sim	v13	v12	v14	v11	
V6	1.5	Sim	v1	v8	v9	v2	
V14	1.4	Sim	v15				
V11	1.2	Não	v12	v10	v15		
V2	0.9	Sim	v1	v5	v3	v6	

As rotas serão definidas conforme ordem decrescente do GQI de cada enlace entre os veículos envolvidos. Quando dois ou mais veículos estiverem com os mesmos valores do GQI, serão levados em consideração os valores dos parâmetros do vídeo, velocidade e localização do veículo, respectivamente. Considerando os parâmetros das Tabelas 5.5 a arquitetura para o cenário de computação em névoa em VANETs proposto na simulação é ilustrada na Figura 5.3.

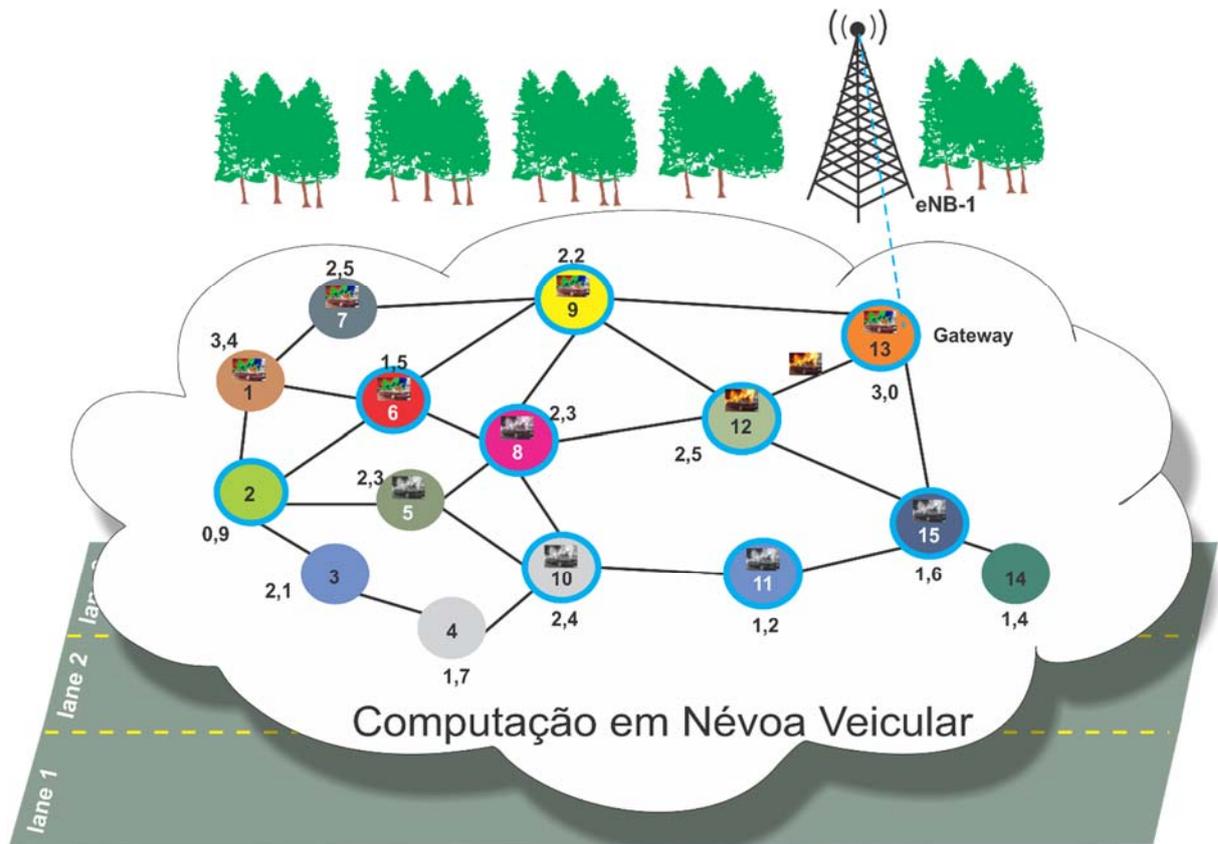


Figura 5.3 – Arquitetura do Cenário de computação em névoa em VANETs.

Nessa arquitetura, os enlaces de comunicação entre os 15 veículos do *cluster*, podem ser identificados em uma determinada região da rodovia. O protocolo CRPV é um protocolo pró-ativo, definido por uma tabela de roteamento, onde o protocolo faz com que cada nó mantenha armazenado em memória uma ou mais tabelas referentes aos demais veículos no *cluster*.

## 5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O protocolo de roteamento proposto é avaliado com diferentes parâmetros. Ao modificar os cenários, várias situações são consideradas como: o impacto de densidade de veículos, região de interesse do vídeo gravado, velocidade e localização do veículo. A quantidade de veículos por *cluster* foi fixado em 15 veículos. Os impactos e os benefícios do protocolo CRPV foram analisados quanto à disseminação de conteúdo multimídia em cenário de *cluster* em uma rodovia e, avaliado utilizando métricas de QoS e QoE.

### 5.2.1 Taxa de Entrega de Pacotes

Os resultados das simulações mostram a análise de densidade de tráfego favorável ao protocolo CRPV, quando comparada a outros protocolos de roteamento para redes veiculares. Nestas simulações, o tráfego de veículos varia de 50 a 150 nós.

A Figura 5.4 ilustra onde o protocolo CRPV supera os demais protocolos de roteamentos em termos de taxa de entrega de pacotes. Na análise dos resultados das simulações, observou-se que existe um aumento da taxa de entrega de pacotes a medida que vai aumentando a quantidade de veículos. Os resultados da taxa de entrega de pacotes na Figura 5.4 apresenta um baixo desempenho do protocolo CRPV com 50 veículos, considerando que a densidade de tráfego é baixa, mas ainda melhor do que outros protocolos.

O desempenho do protocolo PASSCAR é baixo por causa do seu mecanismo que considera apenas os veículos com características estáveis para o cálculo do grau do nó e o tempo de vida do *link*. O desempenho do protocolo SRB é melhor do que PASSCAR a medida que a densidade aumenta considerando o número de transmissões por pacotes, através de uma escolha oportunista de veículo. Os pacotes são retransmitidos apenas pelos veículos selecionados, de modo a reduzir o número de encaminhadores, preservando um nível aceitável de QoS.

Quando a densidade de tráfego é baixa, a comunicação fim-a-fim é comprometida entre o nó de (origem) e nó de (destino). O desempenho do protocolo CRPV é melhor mesmo com menos densidade de tráfego, porque classifica cada veículo por seu GQI, que será utilizado na tabela de roteamento para cada veículo no *cluster* da VANET.

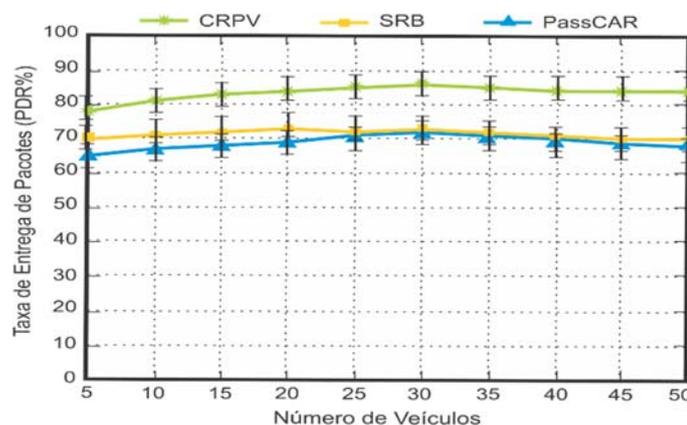
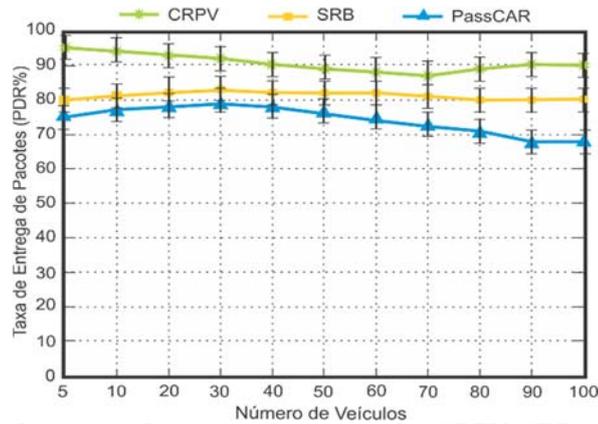


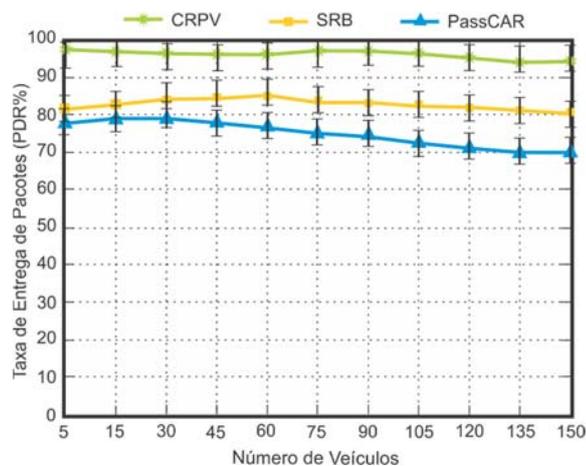
Figura 5.4 – Taxa de entrega de pacotes dos protocolos CRPV, SRB e PassCAR até 50 veículos.

A Figura 5.5 ilustra a taxa de entrega do pacote com 100 veículos na rede. A tendência neste gráfico é melhor para a entrega em comparação com o anterior, porque com mais veículos na rede a qualidade dos GQI melhora. Quando a densidade aumenta, o caminho mais curto torna-se mais comum melhorando a entrega de pacotes. Com 100 veículos o desempenho do CRPV continua superior quando comparados ao SRB e PASSAR, simplesmente porque CRPV encontra caminhos mais curtos na rede, devido as tabelas de roteamento de cada veículo no cluster.



**Figura 5.5 - Taxa de entrega de pacotes dos protocolos CRPV, SRB e PassCAR até 100 veículos.**

Na Figura 5.6, para 150 veículos o protocolo CRPV obteve novamente o melhor desempenho em comparação aos outros protocolos. A sua taxa média de entrega manteve-se estável, mesmo com uma grande quantidade de dados o que poderia ter comprometido o desempenho da rede e favorecido a perda de pacotes, atrasos e outros problemas de congestionamento na disseminação dos vídeos.



**Figura 5.6 - Taxa de entrega de pacotes dos protocolos CRPV, SRB e PassCAR até 150 veículos.**

Na Figura 5.7, é apresentada a taxa média de perda de pacotes nos *clusters* proporcionada pelos protocolos de roteamento CRPV, SRB e PASSCAR. Verificou-se que a taxa de perda proporcionada pelo protocolo CRPV é menor do que a taxa proporcionada pelos demais protocolos. Isso se deve ao menor tempo gasto pelo protocolo CRPV para redirecionar o fluxo de um veículo para outro. Os cinco picos representam as atualizações ocorridas nos membros do *cluster*.

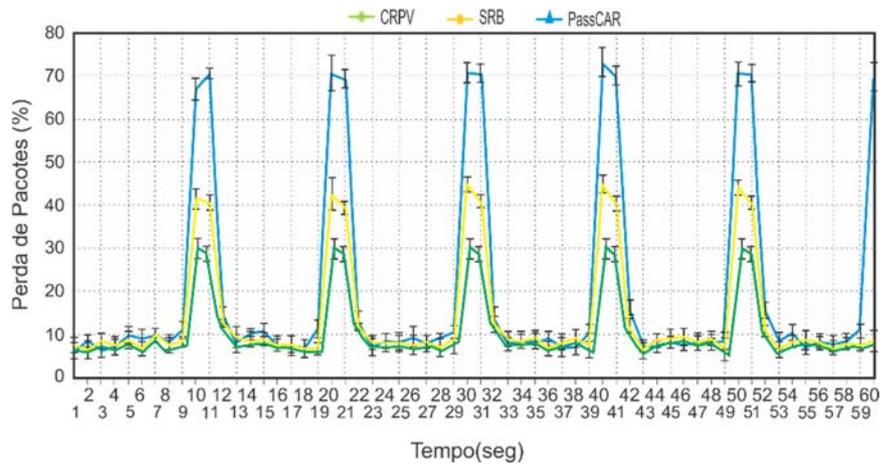


Figura 5.7 – Perda de Pacotes dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR no Cluster.

Pelos testes realizados, o protocolo CRPV detecta mais rapidamente veículos que entram e saem do *cluster*, ao contrário do protocolo PASSCAR e SRB, que gastam mais tempo para identificar a quebra do enlace de um veículo ou a entrada de um novo veículo no *cluster*. O protocolo CRPV apresentou os melhores resultados com relação a taxa de entrega de pacotes para os três cenários com 50, 100 e 150 veículos e também os melhores resultados na taxa média de entrega quando a análise foi levando em consideração apenas os veículos dos *clusters*.

## 5.2.2 Atraso

Na Figura 5.8 ilustra o atraso médio do protocolo CRPV quando comparado com os outros protocolos de roteamento baseados em *cluster*. A proposta do protocolo de roteamento, desta tese ao utilizar as características de velocidade e localização dos veículos, consegue montar uma arquitetura de comunicação V2V mais estável, reduzindo o atraso fim-a-fim. O protocolo PASSCAR teve um atraso médio considerável devido às mensagens durante o processo de descoberta de rotas.

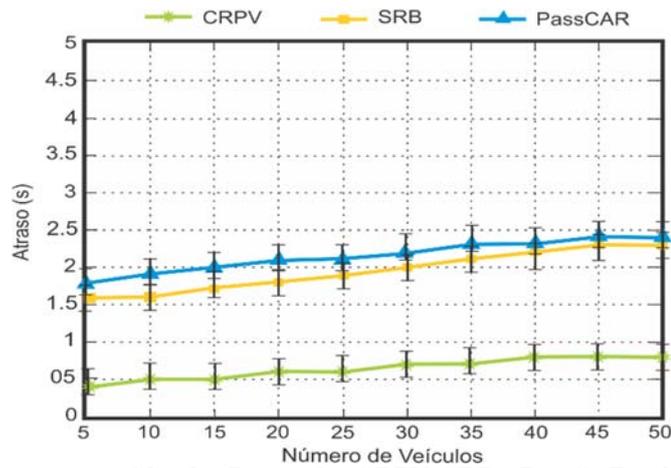


Figura 5.8 – Atraso médio dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR até 50 veículos.

Na Figura 5.9 ilustra o atraso médio do protocolo CRPV, e dos demais protocolos considerando a densidade de veículos. O atraso médio do CRPV continuou devido à grande quantidade de veículos disponíveis para formação do *cluster*, aumentando a complexidade para o cálculo do GQI. O desempenho do protocolo SRB, mesmo com a complexidade computacional empregada nas descobertas de rotas, foi superior ao PASSCAR, pois utilizada a escolha das rotas de forma oportunista onde os dados são retransmitidos apenas pelos veículos selecionados, o que, neste cenário, não comprometeu tanto o seu desempenho.

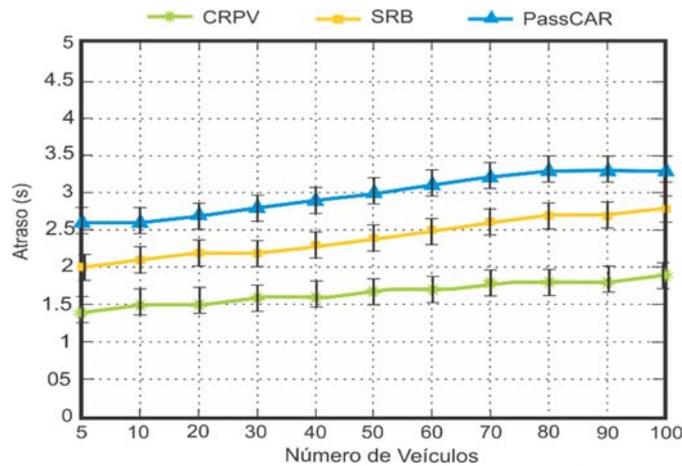
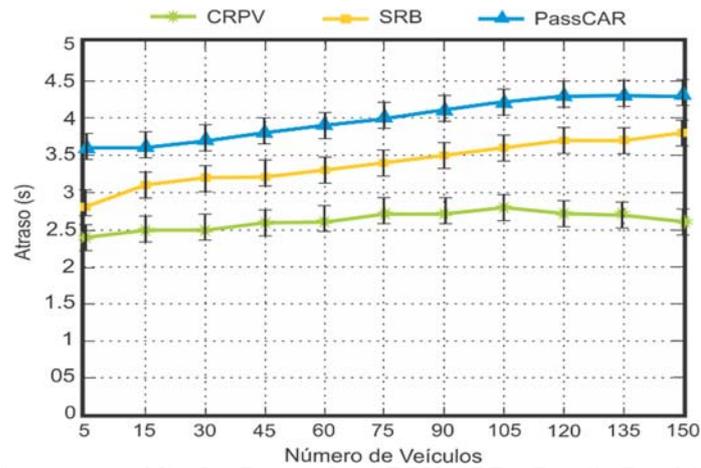


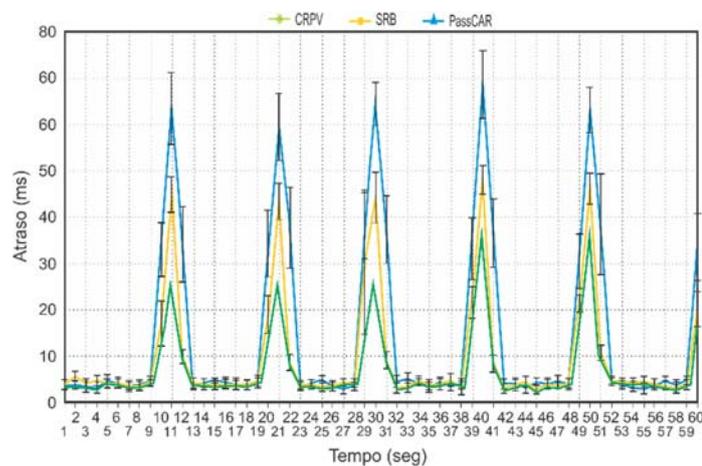
Figura 5.9 - Atraso médio dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR até 100 veículos.

Na Figura 2.6, os resultados para o cenário com 150 veículos, mostram que o protocolo CRPV continua apresentando o melhor desempenho. Devido as características de formação do *cluster*, que utilizada uma lista GC com prioridade identifica e possibilidades de transmissão.



**Figura 5.10 - Atraso médio dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR até 150 veículos.**

A fim de compreender melhor o desempenho do protocolo CRPV, outras simulações foram realizadas com os protocolos de roteamento PASSCAR e SRB. Nestas simulações, um fluxo de dados UDP foi gerado entre os 15 veículos do cluster, a uma taxa de 2Mbps com tamanho de pacote de 1024 bytes. O fluxo durou 60 segundos e dez repetições destas simulações foram realizadas sempre com cinco atualizações no *cluster*. Na Figura 5.11, mostra o atraso médio dos protocolos apenas entre os membros do *cluster*. Os cinco picos representam as atualizações ocorridas nos membros do *cluster*.



**Figura 5.11 – Atraso dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR no Cluster.**

Os resultados demonstram que os protocolos PASSCAR e SRB tiveram um desempenho inferior ao protocolo CRPV em todas as repetições. Ao alternar entre um veículo e outro, o protocolo CRPV realizou a tarefa de descobrimento da rota em menor tempo quando comparado aos protocolos após formação dos *clusters*.

### 5.3.3 Vazão

A fim de medir a vazão de transmissão, um fluxo de dados UDP contínuo foi estabelecido entre os enlaces da VANETs. Foi utilizado o protocolo CRPV nas comunicações V2V, permitindo que o pacote passe por alguns veículos durante a transmissão do emissor até o destinatário. Para cada fluxo, duas variações de tamanho de pacotes foram utilizadas: 1024 bytes e 2048 bytes, a uma taxa de 2Mbps. As Figuras 5.12 e 5.13 ilustram as taxas obtidas nos cenários com 50 e 150 veículos.

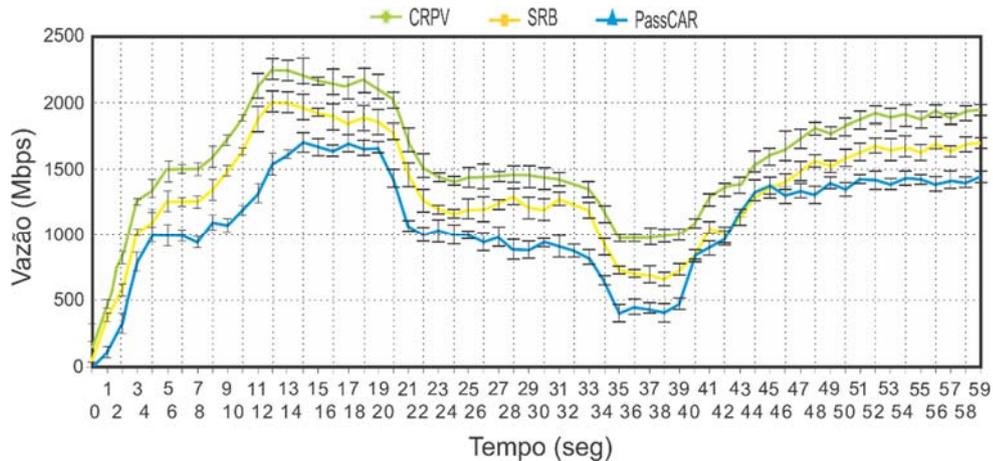


Figura 5.12 - Vazão (50 veículos).

Os valores obtidos nas simulações indicam que, quanto maior o número de veículos, maiores são as chances de a transferência de dados se manter ativa. Pacotes com tamanhos maiores proporcionaram uma maior variação da vazão. Pacotes de 1024 bytes tornou a vazão mais estável.

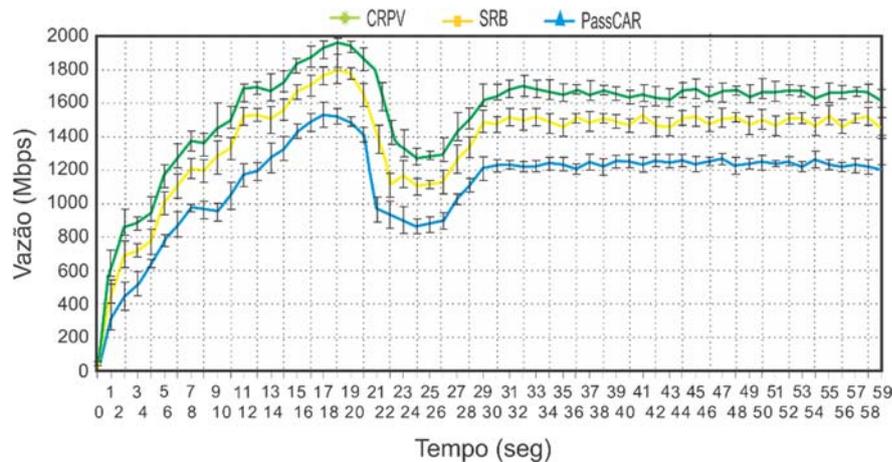


Figura 5.13 - Vazão (150 veículos).

Inicialmente, testes no simulador avaliaram a vazão e o desempenho do protocolo CRPV. Transferências de dados no cenário com 100 veículos, entre os 15 veículos do *cluster*, foram realizadas a fim de identificar a máxima vazão disponibilizada pelo protocolo IEEE

802.11p. Um fluxo de dados UDP foi estabelecido entre os veículos, com pacotes de 1024 bytes. Os veículos permaneceram a uma distância de 20 metros entre si, sem variação de velocidade e trajetória. Os resultados, ilustrados pela Figura 5.14, foram obtidos por meio de 10 repetições. O tráfego de dados teve duração total de 60 segundos.

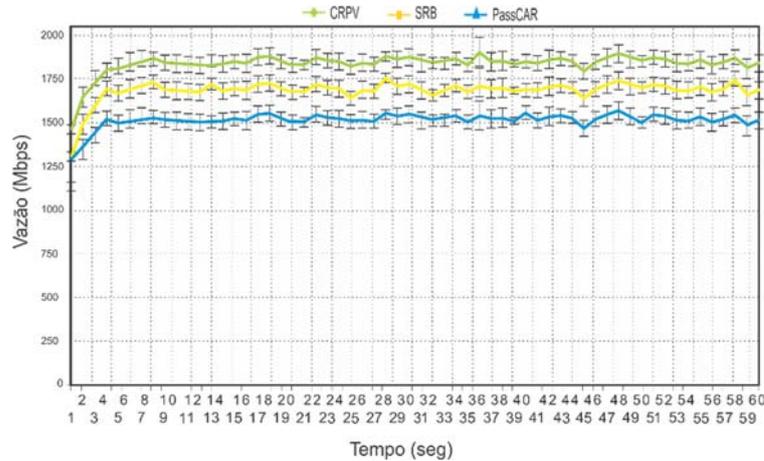


Figura 5.14 – Taxa de Vazão dos Protocolos CRPV, SRB e PassCAR no Cluster.

Nas simulações foi possível obter taxas máximas de transmissão próximo as de 2Mbps. Taxas menores foram obtidas no início da transmissão, estabilizando cerca de 5 segundos depois. Essa melhora se justifica devido às taxas maiores de transferência de dados estarem mais sujeitas a oscilações proporcionadas pelo deslocamento dos veículos e são mais sensíveis a fatores externos. Uma taxa de 2Mbps foi fixada para a realização da avaliação do protocolo CRPV com o padrão 802.11p.

#### 5.2.4. Structural Similarity – SSIM

O SSIM foi usado para avaliar a QoE. A outra métrica objetiva VQM, explicada anteriormente no Capítulo 2 não terá seus resultados apresentados nesta tese pois os resultados mostram um comportamento semelhante ao do SSIM.

O protocolo CRPV apresentou melhor performance ao garantir a QoE do vídeo transmitido, diferente dos PASSCAR e SRB. Este comportamento foi identificado nos três cenários com 50, 100 e 150 veículos. A Figura 5.15 apresenta a avaliação de desempenho onde compara os três protocolos ao transmitir fluxo de vídeo. No cenário com 50 veículos o protocolo CRPV apresentou uma performance entre 0,8 e 0,87 segundo a métrica SSIM. O protocolo CRPV apresentou um ganho de até 19% em relação ao protocolo SRB e de até 23% sobre o protocolo PASSCAR. Os protocolos SRB e o PASSCAR apesar de ficarem apenas 0,1 ponto

abaixo do desempenho do protocolo CRPV, atingiram um pico de 0,73 no índice SSIM. Vídeos classificados pelo SSIM com índice abaixo de 0,7 são considerados de péssima qualidade.

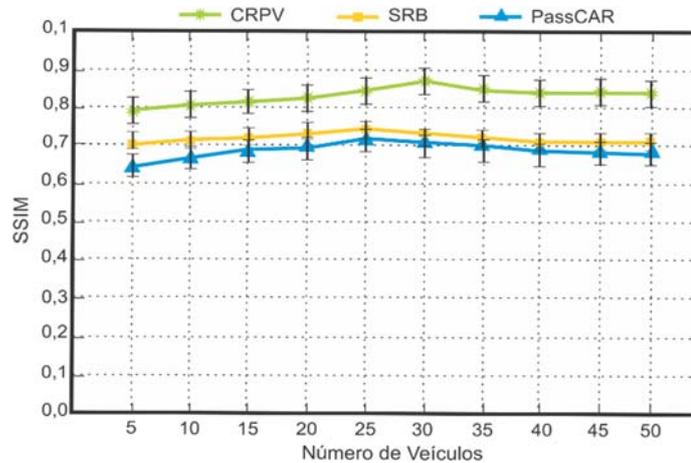


Figura 5.15 - SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 50 veículos.

As Figuras 5.16 e 5.17 apresentam as medições dos desempenhos dos três protocolos nos cenários com 100 e 150 veículos, respectivamente. O protocolo CRPV apresentou melhor desempenho ao garantir a QoE do vídeo transmitido, diferente dos protocolos PASSCAR e SRB. Nestes cenários, os três protocolos apresentaram uma melhora de performance em relação ao cenário com densidade de 50 veículos. O desempenho do protocolo CRPV é melhor, mesmo com menos densidade de tráfego, porque classifica cada veículo por seu GQI, que será utilizado na tabela de roteamento para cada veículo no *cluster* da VANET.

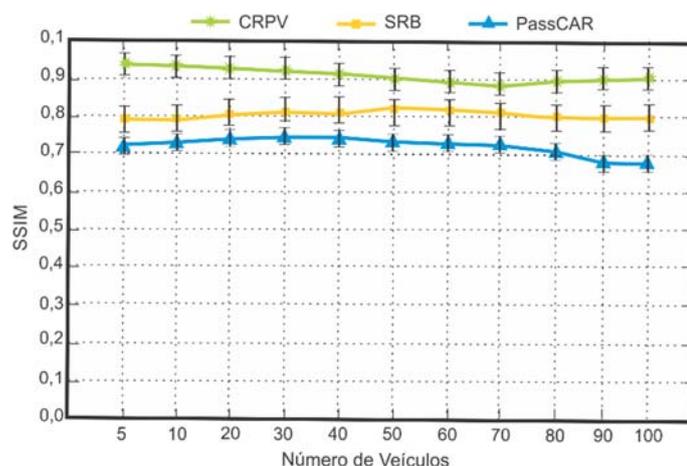
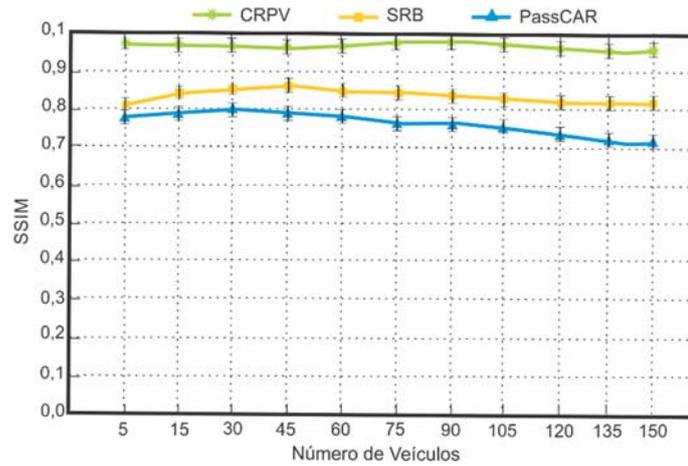
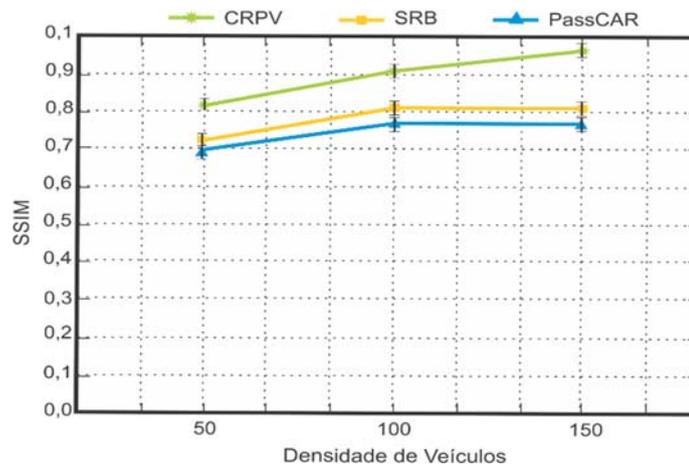


Figura 5.16 - SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 100 veículos.



**Figura 5.17 - SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 150 veículos.**

A Figura 5.18 apresenta o desempenho dos protocolos CRPV, SRB e PASSCAR nos cenários com densidade veicular de 50, 100 e 150 veículos por km.



**Figura 5.18 - SSIM dos Protocolos CRPV, SRB e PASSCAR com 50, 100 e 150 veículos.**

O desempenho do protocolo PASSCAR é baixo por considerar apenas os veículos com características estáveis para o cálculo do grau do nó e tempo de vida do *link*. O desempenho do protocolo SRB é melhor que o protocolo PASSCAR, a medida que a densidade aumenta por considerar o número de transmissões por pacotes através de uma escolha oportunista de veículo. Os pacotes são retransmitidos apenas pelos veículos selecionados, de modo a reduzir o número de veículos encaminhadores.

### 5.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A partir da análise dos resultados obtidos, conclui-se que o protocolo CRPV apresenta excelentes resultados de QoS quando comparado com os protocolos SRB e PASSCAR. A comparação também foi realizada a partir dos resultados obtidos através das métricas objetivas de QoE. Os resultados também comprovam melhor desempenho do protocolo CRPV ao preservar a QoE do usuário.

## 6 CONCLUSÃO

As VANETs se apresentam como um ambiente extremamente desafiador para a implantação de novos serviços de comunicação. O dinamismo da topologia, o meio sem fio compartilhando a densidade não uniforme e a necessidade de escalabilidade são questões que ainda norteiam a concepção de qualquer abordagem prevista para prosperar em tal cenário. Infelizmente não há, ainda uma solução que integrada que consiga resolver todos esses desafios ao mesmo tempo. Assim, é possível identificar diversas questões, abertas para essa tecnologia.

No que diz respeito a serviço à serviços que se utilizam a transmissão de conteúdo de vídeo em VANETs, surgem ainda novos desafios que tornam ainda mais complexa esta tarefa. Os altos requisitos de rede impostos pela natureza não-elástica dos fluxos multimídias devem ser tratados de forma que estes tipos de serviços possam ser aceitos de maneira satisfatórias pelos clientes e usuários que os requisitam. Desta forma, em virtude da crescente demanda por essas novas aplicações, a criação de mecanismos que permitam melhor um melhor QoS se torna necessária e tem recebido muita atenção da comunidade acadêmica nos últimos anos.

Esta tese introduziu um Protocolo de Roteamento Colaborativo para Transmissão de Vídeo em VANET, denominado de *Collaborative Routing Protocol for video streaming in VANETs* (CRPV). Os aspectos inovadores desta tese estão relacionados ao fato do protocolo combinar informações relevantes que influenciam no *overhead* do sistema.

Na avaliação do protocolo CRPV, o mesmo apresentou bons resultados de QoS, conforme visto no Capítulo 5. No entanto, por ser tratar de um cenário multimídia, apenas as métricas de QoS não asseguram que os vídeos possuem uma boa qualidade dentro de ambientes *ad hoc*, como as VANETs. Neste caso, também foram analisados os parâmetros de vídeo que são relacionados a QoE, porém nenhuma informação do vídeo foi utilizada pelo protocolo CRPV, no momento do cálculo do GQI. Essas informações poderiam ser utilizadas pelo protocolo na construção das tabelas de roteamento e manutenção de rotas centradas na aplicação multimídia das câmeras veiculares.

## 6.1 TRABALHOS FUTUROS

Novos trabalhos estão em desenvolvimento e serão continuados mesmo após o período do doutorado, uma vez que muito ainda tem a se desenvolvido dentro do tema de QoE sobre VANTEs na arquitetura de computação em VFC.

Quando a computação em nuvem passou a ser um fator impulsionador dos negócios, possibilitando centralizar o armazenamento e processamento de dados por grandes provedores, serviços serviço de vídeos sob demanda foram impulsionados e outros surgiram, tais como Slack e Dropbox. Como problemas de produtos e serviços acabam influenciando novas tendências, um novo modelo começa a ganhar força ao se adequar melhor a numerosas soluções de Inteligência Artificial, Internet das Coisas e abrir espaço para novas soluções.

Este novo modelo, de apresentado como Computação de Borda ou Edge Computing, utiliza recursos computacionais locais para processar dados, ao invés grandes infraestruturas. Inicialmente, parece uma abordagem que vai de encontro a todos os avanços alcançados pela computação em nuvem, porém a computação de borda traz vantagens importantes e deve revolucionar a maneira como os dados são coletados e processados. Um dos modelos mais simples, está relacionado à sua arquitetura que permite processamento e armazenamento no uso do Edge, permitindo que informações sejam processadas instantaneamente e possam ser utilizadas por protocolos para garantir um melhor QoS e QoE.

A Computação de borda funciona em conjunto com a computação de névoa. Enquanto na primeira o tratamento de dados é feito ainda na rede local, na segunda se processa a segunda camada de dados, a fim de que os computadores de borda não sejam sobrecarregados. É uma tecnologia complementar que oferece latência reduzida e melhor personalização dos aplicativos e vem ganhando rapidamente aplicações em segmentos como o da indústria automotivo sendo atualmente fundamental para outras tecnologias.

A VFC é promissora para obter respostas de rede em tempo real e para novos avanços na indústria automotivo e, conseqüentemente, para cenários de segurança nas estradas e outras possibilidades, precisamos identificar onde a inteligência e o poder de computação será colocada. Atualmente já temos câmeras veiculares equipadas com diversos sensores que passam a gerar quantidade enorme de informações onde é possível colocar inteligência e poder de processamento em dispositivos como controladores de automação incorporados nos veículos ou nos aplicativos embargados das câmeras veiculares.

Neste contexto de VFC que esta tese levantou proposições com base em determinadas hipóteses ou pressupostos e através dos resultados obtidos através de ambiente simulados ou através dos primeiros testes em ambientes reais e que pretendemos contribuir com os estudos futuros dentro da arquitetura de computação em névoa para serviços e aplicações em tempo real.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, I. et al. Vanet-lte based heterogeneous vehicular clustering for driving assistance and route planning applications. *Computer Networks*, Elsevier, v. 145, p. 128–140, 2018.
- AISSAOUI, R. et al. Advanced real-time traffic monitoring system based on v2x communications. In: IEEE. 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC). [S.l.], 2014. p. 2713–2718.
- AL-DOGHMAN, F. et al. A review on fog computing technology. In: IEEE. 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). [S.l.], 2016. p.001525–001530.
- AL-RABAYAH, M.; MALANEY, R. A new scalable hybrid routing protocol for vanets. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, IEEE, v. 61, n. 6, p. 2625–2635, 2012.
- AL-TURJMAN, F.; ALTURJMAN, S. Context-sensitive access in industrial internet of things (iiot) healthcare applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, IEEE, v. 14, n. 6, p. 2736–2744, 2018.
- ALASMARY, W.; ZHUANG, W. Mobility impact in iee 802.11 p infrastructureless vehicular networks. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 222–230, 2012.
- AYAIDA, M. et al. Improving the link lifetime in vanets. In: IEEE. 2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks. [S.l.], 2011. p. 905–912.
- BAGHERLOU, H.; GHAFFARI, A. A routing protocol for vehicular ad hoc networks using simulated annealing algorithm and neural networks. *The Journal of Supercomputing*, Springer, p. 1–25, 2018.
- BALI, R. S.; KUMAR, N.; RODRIGUES, J. J. Clustering in vehicular ad hoc networks: taxonomy, challenges and solutions. *Vehicular communications*, Elsevier, v. 1, n. 3, p. 134–152, 2014.
- BASUDAN, S.; LIN, X.; SANKARANARAYANAN, K. A privacy-preserving vehicular crowdsensing-based road surface condition monitoring system using fog computing. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 4, n. 3, p. 772–782, 2017.
- BEZERRA, Paulo et al. Control of QoE based on Algorithms for the Disposal of Packets concerned with Streaming Video in Wireless Networks. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, v. 12, n. 2, p. 58, 2013.
- BEZERRA, Paulo; MELO, Adalberto ; PINHEIRO, Billy ; COQUEIRO, Thiago ;ABELÉM, A. J. G. ; CASTRO, Agostinho ; CERQUEIRA, Eduardo . Recent Advances in Future Multimedia Mobile Networks. *Mobile Multimedia: INTECH*, 2013, v. p. 51-72.
- BEZERRA, Paulo et al. A collaborative routing protocol for video streaming with fog computing in vehicular ad hoc networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 15, n. 3, p. 1550147719832839, 2019.

BONOMI, F. et al. Fog computing: A platform for internet of things and analytics. In: Big data and internet of things: A roadmap for smart environments. [S.l.]: Springer, 2014. p. 169–186.

BONOMI, F. et al. Fog computing and its role in the internet of things. In: ACM. Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing. [S.l.], 2012. p. 13–16.

BOOYSEN, M. J.; ZEADALLY, S.; ROOYEN, G.-J. V. Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks. IET communications, IET, v. 5, n. 11, p. 1619–1631, 2011.

CAMPOLO, C. et al. Modeling broadcasting in IEEE 802.11 p/wave vehicular networks. IEEE Communications letters, IEEE, v. 15, n. 2, p. 199–201, 2011.

CHEN, S.; ZHANG, T.; SHI, W. Fog computing. IEEE Internet Computing, IEEE, v. 21, n. 2, p. 4–6, 2017.

CHU, Y.-C.; HUANG, N.-F. An efficient traffic information forwarding solution for vehicle safety communications on highways. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, IEEE, v. 13, n. 2, p. 631–643, 2012.

COX, C. An introduction to LTE: LTE, LTE-advanced, SAE and 4G mobile communications. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.

CUNHA, F. et al. Data communication in vanets: Protocols, applications and challenges. Ad Hoc Networks, Elsevier, v. 44, p. 90–103, 2016.

DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. 4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband. [S.l.]: Academic press, 2013.

DARAGHMI, Yousef-Awwad et al. Forwarding methods in data dissemination and routing protocols for vehicular ad hoc networks. IEEE network, v. 27, n. 6, p. 74–79, 2013.

DUA, A.; KUMAR, N.; BAWA, S. A systematic review on routing protocols for vehicular ad hoc networks. Vehicular Communications, Elsevier, v. 1, n. 1, p. 33–52, 2014.

ELAZAB, M.; NOURELDIN, A.; HASSANEIN, H. S. Integrated cooperative localization for vehicular networks with partial GPS access in urban canyons. Vehicular Communications, Elsevier, v. 9, p. 242–253, 2017.

EZE, E. C. et al. Advances in vehicular ad-hoc networks (vanets): Challenges and road-map for future development. International Journal of Automation and Computing, Springer, v. 13, n. 1, p. 1–18, 2016.

FELICE, M. D. et al. A distributed beaconless routing protocol for real-time video dissemination in multimedia vanets. Computer communications, Elsevier, v. 58, p. 40–52, 2015.

GAO, X. et al. Image quality assessment based on multiscale geometric analysis. IEEE Transactions on Image Processing, IEEE, v. 18, n. 7, p. 1409–1423, 2009.

GERLA, M. et al. Content distribution in vanets. *Vehicular Communications*, Elsevier, v. 1, n. 1, p. 3–12, 2014.

GHAFOOR, K. Z. et al. Improved geographical routing in vehicular ad hoc networks. *Wireless Personal Communications*, Springer, v. 80, n. 2, p. 785–804, 2015.

GOZÁLVEZ, J.; SEPULCRE, M.; BAUZA, R. Ieee 802.11 p vehicle to infrastructure communications in urban environments. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 50, n. 5, p. 176–183, 2012.

GRÄFLING, S.; MÄHÖNEN, P.; RIIHIJÄRVI, J. Performance evaluation of ieee 1609 wave and ieee 802.11 p for vehicular communications. In: IEEE. 2010 Second International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN). [S.l.], 2010. p. 344–348.

GUERRERO-IBANEZ, J. A.; ZEADALLY, S.; CONTRERAS-CASTILLO, J. Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and internet of things technologies. *IEEE Wireless Communications*, IEEE, v. 22, n. 6, p. 122–128, 2015.

HAJIBABA, M.; GORGIN, S. A review on modern distributed computing paradigms: Cloud computing, jungle computing and fog computing. *Journal of computing and information technology*, SRCE-Sveucilišni racunski centar, v. 22, n. 2, p. 69–84, 2014.

HASAN, S. F. et al. Measuring disruption in vehicular communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, IEEE, v. 60, n. 1, p. 148–159, 2011.

HASHIM, W. W.; SHARIFF, A. M.; FADILAH, S. I. A new hop-count and node-degree based routing protocol for vehicular ad-hoc networks (vanets). In: IEEE. 2013 IEEE 11th Malaysia International Conference on Communications (MICC). [S.l.], 2013. p. 310–315.

HOLMA, H.; TOSKALA, A. *LTE for UMTS: Evolution to LTE-advanced*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

HOU, X. et al. Vehicular fog computing: A viewpoint of vehicles as the infrastructures. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, IEEE, v. 65, n. 6, p. 3860–3873, 2016.

IQBAL, Z.; KHAN, M. I. Automatic incident detection in smart city using multiple traffic flow parameters via v2x communication. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 14, n. 11, p. 1550147718815845, 2018.

JAGADISH, S.; MANIVASAKAN, R. Analysis of jitter control algorithms in qos networks. In: IEEE. 2011 Second Asian Himalayas International Conference on Internet (AH-ICI). [S.l.], 2011. p. 1–5.

JOTHI, K.; JEYAKUMAR, A. E. Optimization and quality-of-service protocols in vanets: a review. In: *Artificial intelligence and evolutionary algorithms in engineering systems*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 275–284.

KAKARLA, J. et al. A survey on routing protocols and its issues in vanet. Citeseer, 2011.

KARAGIANNIS, G. et al. Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *IEEE communications surveys & tutorials*, IEEE, v. 13, n. 4, p. 584–616, 2011.

KIM, C.-c. et al. Measurement method for mean opinion score in actual home environments. 2013.

KLAUE, J.; RATHKE, B.; WOLISZ, A. Evalvid—a framework for video transmission and quality evaluation. In: SPRINGER. *International conference on modelling techniques and tools for computer performance evaluation*. [S.l.], 2003. p. 255–272.

KOPETZ, H.; POLEDNA, S. In-vehicle real-time fog computing. In: IEEE. *2016 46th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshop (DSN-W)*. [S.l.], 2016. p. 162–167.

KRAJZEWICZ, D. et al. Recent development and applications of sumo-simulation of urban mobility. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, v. 5, n. 3&4, 2012.

KUMAR, Vishal; MISHRA, Shailendra; CHAND, Narottam. Applications of VANETs: present & future. *Communications and Network*, v. 5, n. 01, p. 12, 2013.

KUMAR, V.; WHYTE, W. Performance analysis of existing 1609.2 encodings v asn. 1. *SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems*, v. 8, n. 2015-01-0288, p. 356–363, 2015.

KUO, W.-H.; FANG, S.-H. The impact of gps positioning errors on the hop distance in vehicular adhoc networks (vanets). In: IEEE. *2013 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*. [S.l.], 2013. p. 51–55.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. *Computer Networking. A top down approach*. International edition. Harlow: Pearson Education, 2012.

LATIF, S. et al. A comparative study of scenario-driven multi-hop broadcast protocols for vanets. *Vehicular Communications*, Elsevier, v. 12, p. 88–109, 2018.

LEE, I.; LEE, K. The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, Elsevier, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.

LI, Y. *An Overview of the DSRC/WAVE Technology: Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks*. [S.l.]: Huston, TX, USA: Springer Berlin Heidelberg, 2012.

Liu, Y. C., Chen, C., and Chakraborty, S. (2015). A software defined network architecture for geobroadcast in vanets. In *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 6559–6564.

LI, Chunxiao; SHIMAMOTO, Shigeru. An Open Traffic Light Control Model for Reducing Vehicles. Emissions Based on ETC Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 61, n. 1, p. 97-110, 2012.

LOBATO, W. et al. Platoon-based driving protocol based on game theory for multimedia transmission over vanet. In: *IEEE. GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*. [S.l.], 2017. p. 1–6.

MALIK, A.; OM, H. Cloud computing and internet of things integration: architecture, applications, issues, and challenges. In: *Sustainable Cloud and Energy Services*. [S.l.]: Springer, 2018. p. 1–24.

MARTINEZ, F. J. et al. Computer simulations of vanets using realistic city topologies. *Wireless Personal Communications*, Springer, v. 69, n. 2, p. 639–663, 2013.

MCMILLIN, B.; ZHANG, T. Fog computing for smart living. *Computer, IEEE*, v. 50, n. 2, p. 5–5, 2017.

MIAO, L. et al. Evaluation and enhancement of ieee 802.11 p standard: A survey. *Mobile Computing, Science and Engineering Publishing Company*, v. 1, n. 1, p. 15–30, 2012.

MOORTHY, A. K. et al. Video quality assessment on mobile devices: Subjective, behavioral and objective studies. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, IEEE*, v. 6, n. 6, p. 652–671, 2012.

MORRIS, Michael G.; TURNER, Jason M. Assessing users' subjective quality of experience with the world wide web: an exploratory examination of temporal changes in technology acceptance. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 54, n. 6, p. 877-901, 2001.

MU, M. et al. Quality of experience management framework for real-time multimedia applications. *International Journal of Internet Protocol Technology*, v. 4, p. 54–64, 2009.

OSANAIYE, O. et al. From cloud to fog computing: A review and a conceptual live vm migration framework. *IEEE Access, IEEE*, v. 5, p. 8284–8300, 2017.

OUELLETTE, Stéphane; MARCHAND, Laurent; PIERRE, Samuel. A potential evolution of the policy and charging control/QoS architecture for the 3GPP IETF-based evolved packet core. *Communications Magazine, IEEE*, v. 49, n. 5, p. 231-239, 2013.

PACHECO-PARAMO, Diego; AKYILDIZ, Ian F.; CASARES-GINER, Vicente. X2-Interface-based location management for Small Cell networks. In: *2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. IEEE, 2013. p. 4976-4981.

PANDE, G. Performance evaluation of video communications over 4g network. In: *Intelligent Computing, Networking, and Informatics*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 797–803.

PILLALAMARRI, R. K. et al. AP-Based Intelligent Fog Agent. 2018. US Patent App. 15/695,774.

QUADROS, C. et al. A multi-flow-driven mechanism to support live video streaming on vanets. In: IEEE. 2014 Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems. [S.l.], 2014. p. 468–476.

QUAN, W. et al. Social cooperation for information-centric multimedia streaming in highway vanets. In: IEEE. Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014. [S.l.], 2014. p. 1–6.

QURESHI, K. N. et al. Cluster-based data dissemination, cluster head formation under sparse, and dense traffic conditions for vehicular ad hoc networks. *International Journal of Communication Systems*, Wiley Online Library, v. 31, n. 8, p. e3533, 2018.

RAHMANI, A. M. et al. Exploiting smart e-health gateways at the edge of healthcare internet-of-things: A fog computing approach. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 78, p. 641–658, 2018.

RAWAT, D. B. et al. Enhancing vanet performance by joint adaptation of transmission power and contention window size. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, IEEE, v. 22, n. 9, p. 1528–1535, 2011.

RAZZAQUE, M.; SALEHI, A.; CHERAGHI, S. M. Security and privacy in vehicular ad-hoc networks: survey and the road ahead. In: *Wireless Networks and Security*. [S.l.]: Springer, 2013. p. 107–132.

REYES, A. et al. Vehicle density in vanet applications. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, IOS Press, v. 6, n. 4, p. 469–481, 2014.

REZAEI, Fahimeh; HEMPEL, Michael; SHARIF, Hamid. LTE PHY performance analysis under 3GPP standards parameters. In: *Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, 2011 IEEE 16th International Workshop on. IEEE, 2011. p. 102-106.

RILEY, G. F.; HENDERSON, T. R. The ns-3 network simulator. In: *Modeling and tools for network simulation*. [S.l.]: Springer, 2010. p. 15–34.

ROSÁRIO, D. et al. Service migration from cloud to multi-tier fog nodes for multimedia dissemination with qoe support. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 18, n. 2, p. 329, 2018.

SAINI, M.; ALELAIWI, A.; SADDIK, A. E. How close are we to realizing a pragmatic vanet solution? a meta-survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, ACM, v. 48, n. 2, p. 29, 2015.

SANGUESA, J. A. et al. A survey and comparative study of broadcast warning message dissemination schemes for vanets. *Mobile Information Systems*, Hindawi, v. 2016, 2016.

SERRAL-GRACIÀ, R. et al. An overview of quality of experience measurement challenges for video applications in ip networks. In: SPRINGER. *International Conference on Wired/Wireless Internet Communications*. [S.l.], 2010. p. 252–263.

SEZIA, S.; TOUFIK, I.; BAKER, M. LTE, the UMTS long term evolution: from theory to practice, John Wiley & Sons. 2011.

SHEN, Z. et al. Overview of 3gpp lte-advanced carrier aggregation for 4g wireless communications. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 50, n. 2, p. 122–130, 2012.

SIVARAMAN, S.; TRIVEDI, M. M. Integrated lane and vehicle detection, localization, and tracking: A synergistic approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, v. 14, n. 2, p. 906–917, 2013.

SONG, Chao et al. Buffer and switch: road-to-road routing scheme for intermittently connected vehicular networks. 2012.

STOJMENOVIC, I. et al. An overview of fog computing and its security issues. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Wiley Online Library, v. 28, n. 10, p. 2991–3005, 2016.

TAL, I.; MUNTEAN, G.-M. User-oriented cluster-based solution for multimedia content delivery over vanets. In: IEEE. *IEEE international Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. [S.l.], 2012. p. 1–5.

TAMMEMÄE, K. et al. Self-aware fog computing in private and secure spheres. In: *Fog Computing in the Internet of Things*. [S.l.]: Springer, 2018. p. 71–99.

VANDENBERGHE, W.; MOERMAN, I.; DEMEESTER, P. Approximation of the iee 802.11p standard using commercial off-the-shelf iee 802.11 a hardware. In: IEEE. *2011 11th International Conference on ITS Telecommunications*. [S.l.], 2011. p. 21–26.

VEGNI, A. M.; NATALIZIO, E. Forwarder smart selection protocol for limitation of broadcast storm problem. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, v. 47, p. 61–71, 2015.

VIRIYASITAVAT, W. et al. Vehicular communications: Survey and challenges of channel and propagation models. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, IEEE, v. 10, n. 2, p.55–66, 2015.

WANG, J. et al. Dynamic clustering and cooperative scheduling for vehicle-to-vehicle communication in bidirectional road scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, v. 19, n. 6, p. 1913–1924, 2018.

WANG, L.; ALEXANDER, C. Big data analytics and cloud computing in internet of things. *Amer. J. Inf. Sci. Comput. Eng.*, v. 2, n. 6, p. 70–78, 2016.

WANG, S.-S.; LIN, Y.-S. Passcar: A passive clustering aided routing protocol for vehicular ad hoc networks. *Computer communications*, Elsevier, v. 36, n. 2, p. 170–179, 2013.

WU, C.; GERLA, M.; MASTRONARDE, N. Incentive driven lte content distribution in vanets. In: IEEE. *2015 14th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET)*. [S.l.], 2015. p. 1–8.

YI, S.; LI, C.; LI, Q. A survey of fog computing: concepts, applications and issues. In: ACM. *Proceedings of the 2015 workshop on mobile big data*. [S.l.], 2015. p. 37–42.

ZIEGLER, J. et al. Making bertha drive—an autonomous journey on a historic route. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE, v. 6, n. 2, p. 8–20, 2014.

ZHOU, Haibo et al. ChainCluster: Engineering a Cooperative Content Distribution Framework for Highway Vehicular Communications. 2014. 1-14.