



DISSEMINAÇÃO DE MENSAGENS DE EMERGÊNCIA EM VIAS COM
BAIXO FLUXO VEICULAR UTILIZANDO REDES IEEE 802.11P

Gilmara Vieira Lacerda Machado

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores: Luís Henrique Maciel Kosmalski
Costa
José Geraldo Ribeiro Júnior

Rio de Janeiro
Março de 2017

DISSEMINAÇÃO DE MENSAGENS DE EMERGÊNCIA EM VIAS COM
BAIXO FLUXO VEICULAR UTILIZANDO REDES IEEE 802.11P

Gilmara Vieira Lacerda Machado

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
ELÉTRICA.

Examinada por:

Prof. Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa, Dr.

Prof. José Geraldo Ribeiro Júnior, D.Sc.

Prof. Marcelo Gonçalves Rubinstein, D.Sc.

Prof. Miguel Elias Mitre Campista, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2017

Machado, Gilmaria Vieira Lacerda

Disseminação de Mensagens de Emergência em Vias com Baixo Fluxo Veicular Utilizando Redes IEEE 802.11p/Gilmaria Vieira Lacerda Machado. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XII, 59 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa

José Geraldo Ribeiro Júnior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Elétrica, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 55 – 59.

1. Redes veiculares. 2. Baixo fluxo veicular. 3. Simulação. I. Costa, Luís Henrique Maciel Kosmalski *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*Dedico esse trabalho aos meus
pais.*

Agradecimentos

Minha eterna gratidão pela paciência e esforço dos meus orientadores professor Luis Henrique Maciel Kosmalski Costa e professor José Geraldo Ribeiro Junior. Agradeço a todo o tempo e auxílio de Thales Teixeira de Almeida.

Aos meus pais e toda a minha família, obrigada por todo o apoio e toda a força em todos os momentos em que precisei e especialmente nos momentos em que não mereci.

Agradeço a Deus por essa oportunidade ímpar e por todos os momentos que com certeza recebi mais do que devia. Eu não estaria onde estou, eu não seria quem sou se não fosse por vocês.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DISSEMINAÇÃO DE MENSAGENS DE EMERGÊNCIA EM VIAS COM
BAIXO FLUXO VEICULAR UTILIZANDO REDES IEEE 802.11P

Gilmara Vieira Lacerda Machado

Março/2017

Orientadores: Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa
José Geraldo Ribeiro Júnior

Programa: Engenharia Elétrica

Efetuar atendimento rápido a vítimas de acidentes automobilísticos é um desafio cada vez maior uma vez que o número de acidentes aumenta consideravelmente a cada ano. Na literatura encontram-se diversas propostas de meios de detecção de acidentes e disseminação de mensagens por redes veiculares, assim como meios de avisar aos condutores sobre as condições das pistas por onde pretendem trafegar durante o seu trajeto. Neste trabalho é analisada uma rede veicular utilizando comunicações entre veículos (V2V) e entre veículos e a infraestrutura (V2I) em redes IEEE 802.11p em rodovias com baixo fluxo veicular. A análise deste cenário é importante pois o tempo de notificação de um acidente tende a ser maior em relação a rodovias com maior fluxo. No cenário analisado, busca-se enviar o alerta sobre o evento ocorrido na via até as extremidades da mesma, onde haverá um ponto de apoio com recursos para efetuar o atendimento. Assume-se que unidades de acostamento (RSUs) auxiliam na disseminação do alerta caso não haja cobertura celular na área. Existindo essa opção, uma RSU pode enviar diretamente um SMS para o ponto de apoio. As simulações realizadas tiveram como propósito verificar se a mensagem de alerta enviada conseguiria atingir as extremidades da via notificando os pontos de apoio. Nos cenários onde a distância de inserção entre os veículos era de 170 metros com a distância entre as RSUs variando de 500 a 800 metros juntamente com o número de vias paralelas variando entre dois e cinco, os resultados obtidos indicam que a mensagem atingiu as extremidades da via. Aumentando a distância entre as RSUs e conseqüentemente diminuindo o número necessário das mesmas na via também foi possível manter a entrega do alerta de forma que a meta proposta inicialmente foi atingida com sucesso.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DISSEMINATION OF EMERGENCY MESSAGES ON LOW-TRAFFIC
ROUTES USING IEEE 802.11P

Gilmara Vieira Lacerda Machado

March/2017

Advisors: Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa
José Geraldo Ribeiro Júnior

Department: Electrical Engineering

Rapid care for car accident victims is a growing challenge as the number of accidents increases considerably each year. In the literature there are several proposals for means of accident detection and dissemination of messages by vehicular networks, as well as means to warn drivers about the conditions of the lanes by which they intend to travel during their journey. In this work, a vehicular network using vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communications is analyzed in IEEE 802.11p networks on low-traffic roads. The analysis of this scenario is important because the notification time of an accident tends to be greater in relation to high flow roads. In the analyzed scenario, it is sought to send the alert about the event occurred in the route until the ends of the same, where there will be a point of support with resources to carry out the service. It is assumed that road side units (RSUs) assist in the dissemination of the alert if there is no cellular coverage in the area. If this option exists, a RSU can directly send an SMS to the support point. The simulations carried out had the purpose of verifying if the sent alert message could reach the extrudes of the road notifying the points of support. In the scenarios where the insertion distance between the vehicles was 170 meters with the distance between RSUs ranging from 500 to 800 meters along with the number of parallel paths varying between two and five, the results obtained indicate that the message reached the ends of the via. Increasing the distance between the RSUs and consequently reducing the number of RSUs required in the route also allowed the delivery of the alert to be maintained so that the initial target goal was successfully achieved.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Lista de Figuras | x |
| Lista de Tabelas | xi |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Objetivo | 3 |
| 1.2 Proposta | 4 |
| 1.3 Análise da Proposta | 6 |
| 1.4 Metodologia | 6 |
| 1.5 Contribuições | 7 |
| 1.6 Organização | 7 |
| 2 Fundamentos teóricos | 8 |
| 2.1 Redes Veiculares | 8 |
| 2.2 Características das VANETs | 11 |
| 2.3 A Arquitetura WAVE | 12 |
| 2.4 Padrão IEEE 802.11p | 13 |
| 2.5 Aplicações para uso em Redes Veiculares | 14 |
| 2.5.1 Aplicações voltadas para assistência ao condutor | 15 |
| 2.5.2 Aplicações de entretenimento | 16 |
| 2.5.3 Aplicações de segurança | 16 |
| 2.6 Desafios | 17 |
| 2.7 Roteamento | 18 |
| 2.8 Simulação em redes veiculares | 20 |
| 2.8.1 Configuração de simuladores para uma VANET | 21 |
| 2.8.2 Simulador NS | 21 |
| 2.9 Trabalho Relacionados | 22 |
| 2.9.1 Identificação automática de acidente | 22 |
| 2.9.2 Disseminação de mensagens de alerta e controle de tráfego de rede | 23 |
| 2.9.3 Movimentação e Localização dos Veículos | 26 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Método Proposto para Propagação de Mensagens | 28 |
| 3.1 | Proposta | 28 |
| 3.1.1 | Função da OBU | 30 |
| 3.1.2 | Função da RSU | 32 |
| 3.1.3 | Tipos de mensagens | 34 |
| 3.2 | Estrutura da mensagem | 36 |
| 4 | Resultados e Discussões | 37 |
| 4.1 | Código de simulação | 37 |
| 4.1.1 | Simulando uma RSU | 37 |
| 4.1.2 | Modelo de simulação de uma OBU | 38 |
| 4.1.3 | Modelo de simulação de um obstáculo na via | 38 |
| 4.1.4 | Alerta de obstáculos | 38 |
| 4.1.5 | Utilização do padrão IEEE 802.11p | 39 |
| 4.2 | Cenários de simulação | 39 |
| 4.2.1 | Parâmetros | 39 |
| 4.2.2 | Cenários | 41 |
| 4.3 | Simulações | 42 |
| 4.4 | Análise dos resultados | 49 |
| 5 | Conclusões e Trabalhos Futuros | 52 |
| | Referências Bibliográficas | 55 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Rodovia monitorada. | 4 |
| 2.1 | Arquitetura veículo-veículo (V2V). | 9 |
| 2.2 | Comunicação veículo-infraestrutura (V2I). | 9 |
| 2.3 | Comunicação veículo-veículo e veículo-infraestrutura (híbrida). | 9 |
| 2.4 | Os três principais modos de comunicação em redes veiculares [1]. | 10 |
| 2.5 | Pilha de protocolos WAVE [1]. | 13 |
| 2.6 | Detecção de eventos de risco [2]. | 17 |
| 2.7 | O nó S envia um pacote para o nó D e a linha pontilhada mostra o caminho da mensagem contornando a janela [3]. | 19 |
| 2.8 | Simuladores diversos e sua junção para constituir um simulador VANET (baseado em [4]). | 20 |
| 2.9 | Proposta de método para propagação da mensagem de alerta [5]. | 25 |
| 3.1 | Cenário analisado. | 30 |
| 3.2 | Fluxograma de recebimento e propagação de mensagens de alerta pela OBU. | 31 |
| 3.3 | Fluxograma de recebimento e propagação de mensagens de alerta pela RSU. | 33 |
| 3.4 | Cenário de rodovia com baixo fluxo veicular com ocorrência de acidente fora da via. | 33 |
| 3.5 | Ausência de veículos dentro do raio de cobertura da RSU no momento do acidente. | 35 |
| 3.6 | Veículo acidentado fora do alcance da RSU. | 35 |
| 3.7 | Estrutura alterada do quadro do padrão IEEE 802.11p. | 36 |
| 4.1 | Número de pacotes recebidos com sucesso nos cenários simulados. | 49 |
| 4.2 | Número de pacotes recebidos com erro nos cenários simulados. | 50 |
| 4.3 | Diferença entre pacotes recebidos com erro e pacotes recebidos com sucesso. | 50 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Principais atividades. | 6 |
| 2.1 | Comparação entre ambientes de redes veiculares [6]. | 10 |
| 2.2 | Nomenclatura resumida da arquitetura WAVE [1]. | 12 |
| 2.3 | Categorização das aplicações VANETs segundo CUNHA <i>et al.</i> [7]. | 15 |
| 4.1 | Parâmetros dos experimentos. | 41 |
| 4.2 | Alcance das mensagens referentes a primeira etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 1000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs. | 41 |
| 4.3 | Alcance das mensagens referentes a segunda etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs. | 42 |
| 4.4 | Alcance das mensagens referentes a terceira etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 500 metros. | 43 |
| 4.5 | Contagem de veículos e pacotes na terceira etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 500 metros. | 44 |
| 4.6 | Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 500 metros. | 44 |
| 4.7 | Alcance das mensagens referentes a quarta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 600 metros. | 45 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.8 | Contagem de veículos e pacotes na quarta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bi- direcional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 600 metros. | 45 |
| 4.9 | Contagem de veículos e pacotes na quarta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bi- direcional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 600 metros. | 46 |
| 4.10 | Resultados da quinta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 700 metros. | 46 |
| 4.11 | Contagem de veículos e pacotes na quinta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bi- direcional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 700 metros. | 47 |
| 4.12 | Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bi- direcional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 700 metros. | 47 |
| 4.13 | Resultados da sétima etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 800 metros. | 48 |
| 4.14 | Contagem de veículos e pacotes na sétima etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bi- direcional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 800 metros. | 48 |
| 4.15 | Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bi- direcional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 800 metros. | 49 |
| 4.16 | Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. | 51 |

Capítulo 1

Introdução

Grande parte da população mundial possui veículo próprio em detrimento a meios de transporte coletivo. Segundo estatísticas da OICA [8] (*Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*), em 2014 a taxa média era de 180 veículos a cada 1000 habitantes no mundo. Em comparação com a taxa de veículos existentes no ano de 2004, a América do Sul foi a segunda a apresentar maior crescimento em sua frota (59%), perdendo para o grupo formado pela Ásia, Oceania e Oriente Médio (123%).

No Brasil, assim como em todo o mundo, o crescimento da frota também é considerável. A malha rodoviária brasileira possui 1,7 milhão de quilômetros de estradas sendo apenas 12,9% pavimentadas [9]. Mesmo assim, o número de veículos adquiridos no país continua a crescer. A partir de 2000, até setembro de 2016, a frota brasileira aumentou de 29.722.950 para 93.071.511 veículos [9].

O aumento no número de veículos gera impactos negativos, entre eles um número maior de acidentes e conseqüentemente de vítimas. De acordo com a ASIRT [10] (*Association For Safe International Road Travel*), no cenário mundial, os acidentes rodoviários matam aproximadamente 1,3 milhões de pessoas ao ano (média 3.287 óbitos diários). Nestes valores ainda são incluídos de 20 a 50 milhões de feridos e inválidos. Esses acontecimentos ainda impactam mundialmente em US \$ 518 bilhões de custos. No Brasil, o seguro de trânsito DPVAT (Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre) alcançou o número de 94.604 indenizações no ano de 2002 sendo 37.018 por morte e 16.280 por invalidez permanente. Em 2015 o número total de indenizações foi de 652.349 sendo 42.501 por morte e 515.751 por invalidez [11], ou seja, este valor sofreu um aumento de aproximadamente 589% em treze anos. Os gastos financeiros com as indenizações pelo DPVAT anualmente alcançam em média o valor de R\$2,3 bilhões [12].

Os acidentes envolvendo veículos, sejam em rodovias ou áreas urbanas, ocorrem nos mais diversos cenários. Entre estes cenários estão aqueles em que a via possui baixo fluxo veicular, foco deste trabalho. Para se chegar a um parâmetro que ca-

racterizasse um baixo fluxo veicular foi feita uma análise da variação do número de veículos ao longo de diferentes horas do dia ou de diferentes dias da semana, tendo como base as rodovias em Minas Gerais monitoradas pelo DNIT [13]. A rodovia que apresentou o menor fluxo veicular foi a BR 365, no quilômetro 302. Durante o mês de dezembro de 2015 foi calculada a média de 1.307 veículos por dia neste trecho. Este valor dividido em horas indica que aproximadamente 54 veículos estavam neste trecho a cada hora.

Ainda em relação aos acidentes, estima-se que 75% possuem como causa o homem, 12% por problemas do veículo, 6% por problemas nas vias e outros motivos somam 7%. Ainda sobre as condições dos acidentes, consta que 75% ocorrem com tempo bom, 68% em locais com retas e 61% ocorrem durante o dia [14].

O aumento no número de veículos tende também a reduzir o número de ocupantes nos mesmos. Sendo assim, o número de ocorrências onde o condutor está sozinho no veículo também é maior. Se um condutor que está sozinho no veículo perde o controle e sofre um acidente em um local com médio ou alto fluxo veicular, as chances do acidente ser detectado são maiores, o que aumenta a chance de ser socorrido em um tempo menor. Porém, ao ocorrer um acidente em uma rodovia de baixo fluxo, este mesmo condutor correrá o risco de esperar por um tempo maior e conseqüentemente ter maiores problemas de acordo com a gravidade do acidente. Ou seja, um condutor que está sozinho no veículo se torna mais vulnerável.

Os congestionamentos gerados principalmente nos grandes centros podem ser reflexos de falhas no planejamento urbano diante do aumento da frota de veículos ou devido a acidentes e bloqueios na via. Estima-se que em média os condutores perdem 8 dias ao longo do ano em congestionamentos [15]. Em uma lista composta da dez cidades com maior índice de congestionamento no mundo, a cidade do Rio de Janeiro está em terceiro lugar e São Paulo em sétimo [15]. No caso da cidade do Rio de Janeiro, estima-se que anualmente a população carioca acumula um prejuízo de 3,7 bilhões de reais com engarrafamentos [16].

O possível congestionamento próximo a área de ocorrência do acidente é também um problema para que o auxílio seja eficiente. Na literatura são encontrados estudos que relacionam o prazo para o atendimento da ocorrência com o índice de mortalidade em acidentes.

FOGUE *et al.* [17] classifica as mortes em acidentes em três fases distintas. A primeira é responsável por 10% das mortes e ocorre nos primeiros segundos ou minutos após o acidente. A segunda fase diz respeito a primeira hora que possui a mais alta taxa de mortalidade chegando a 75%. A terceira fase engloba os dias e semanas após o acidente responsável por 15% das mortes. Ao ocorrer um acidente, faz-se necessário solicitar rapidamente ajuda para que as devidas providências sejam tomadas fazendo com que o tempo entre a ocorrência e o atendimento das vítimas

seja o menor possível visando a sobrevivência dos envolvidos. Visando melhorar os números deste cenário, tecnologias para aumentar a segurança e conforto dos usuários estão em constante desenvolvimento. Entre as soluções propostas existem aquelas ligadas à propagação de mensagens de emergência. Essas aplicações possuem o tempo como fator crítico uma vez que quanto menor o tempo necessário para propagar o alerta desde sua origem até o seu destino, melhor pode ser considerado o seu desempenho.

Em cenários onde o fluxo de veículos na via ou a visibilidade são menores, a possibilidade de ocorrerem atrasos no socorro as vítimas aumenta consideravelmente. Esse cenário se torna um desafio para efetuar uma comunicação eficiente e atender a quem precisa no menor tempo possível. Sendo assim neste trabalho é discutida uma proposta de disseminação de mensagens de emergência em redes veiculares voltada para rodovias de baixo fluxo. As unidades de acostamento auxiliam o processo de encaminhamento do alerta de acidente até pontos de apoio localizados nas extremidades da via, sendo estes responsáveis por encaminhar a ajuda necessária.

1.1 Objetivo

O objetivo central deste trabalho é analisar a viabilidade de uma proposta de disseminação de mensagens de emergência utilizando redes veiculares com estrutura híbrida em cenários com baixo fluxo de veículos. A utilização de uma estrutura híbrida permite o apoio de unidades de acostamento ao longo da via para auxiliar a manter a mensagem a ser propagada. Entende-se por unidade de acostamento equipamentos fixos capazes de hospedar aplicações e prover serviços em uma rede veicular. Para isso, foram executados experimentos e feita a verificação do ambiente através de simulação.

Em um cenário de rede veicular com disseminação de alertas, as principais atividades a serem desenvolvidas podem ser organizadas em quatro etapas sendo estas listadas abaixo.

- Detecção do evento: Analisar e escolher o método de detecção automática do evento que iniciará o envio do alerta. Deve-se levar em consideração um método que permita o cancelamento do envio caso seja uma situação de falso positivo. Nestes casos, é dado um prazo para que alguém dentro do veículo possa efetuar o cancelamento do envio da mensagem. Em situações onde os ocupantes estão desacordados, o alerta é enviado automaticamente após este prazo de espera;
- Disseminação do evento: Definir quais dados irão formar a mensagem a ser enviada, quais equipamentos participarão do processo e como será feito o envio

deste alerta;

- Controle de mensagens na rede: Garantir a entrega da mensagem de alerta no destino como esperado. Porém, até atingir o destino o número de mensagens não deve gerar sobrecarga na rede, ou seja, deve haver uma forma de efetuar o controle da redundância;
- Finalização do evento: Definir até onde a mensagem deve chegar e quando ela deve parar de ser disseminada e/ou mantida pelos equipamentos.

Pretende-se que a proposta possa se tornar viável e eficiente em locais onde o baixo número de veículos poderia comprometer a comunicação entre os mesmos. Para não depender apenas do fluxo, é feito o suporte a comunicação pelas unidades de acostamento.

1.2 Proposta

A proposta trata a análise do tempo de envio de mensagens de emergência em uma rodovia onde ambas as extremidades devem ser notificadas. No cenário avaliado a rodovia não possui cruzamentos e cada extremidade possui um ponto de apoio equipado para atender emergências. O cenário base está ilustrado na Figura 1.1. Entre as várias atividades desenvolvidas pelas diferentes partes que constituem a proposta tem-se as OBUs (Unidades de bordo ou *On Board Unit*) como fontes para detectar o acidente e encaminhar a mensagem de alerta até os pontos de apoio. Neste caso, uma OBU é vista como um veículo onde o condutor possua um *smartphone* preparado para fazer a comunicação entre outras OBUs e RSUs dentro da rodovia monitorada.

Apenas podem finalizar o envio de alerta, os pontos de apoio (PA) ou OBUs que possuem autorização para essa atividade. As únicas OBUs que podem efetuar essa tarefa são aquelas que se encontram nos pontos de apoio e se deslocam para atender as ocorrências. São elas caminhões guincho, ambulância e viatura.

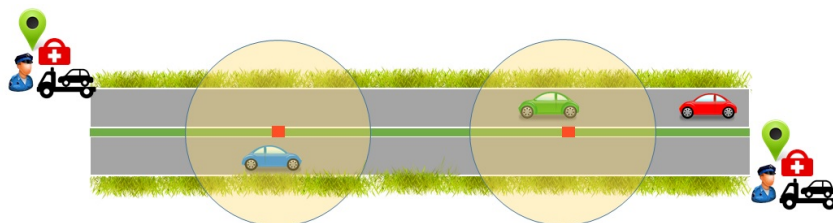


Figura 1.1: Rodovia monitorada.

As RSUs (Unidades de acostamento ou *Road Side Unit*) ficam responsáveis por dar o suporte em cenários onde, em um determinado momento, não haja destinatário

no raio de alcance do veículo transmissor. Nesse caso, a RSU mantém a mensagem até que tenha um destinatário em seu raio de alcance. Localizadas em uma área entre as vias de direções opostas, elas podem propagar mensagens em ambas as direções no intuito de melhorar a propagação e possuir um maior número de OBUs disponíveis para transportar o alerta. Isso evita que a mensagem se perca caso o fluxo de veículos seja extremamente baixo no momento de envio da mensagem na rede.

No sistema proposto, também é possível fazer o envio de mensagens via SMS. Caso o próprio veículo acidentado ou uma RSU esteja em uma área que permita o uso de rede celular, o envio do alerta pode ser feito automaticamente, utilizando esta rede para que o alerta chegue mais rapidamente ao ponto de apoio. Caso a comunicação via rede de telefonia celular não esteja disponível, a responsabilidade de efetuar o traslado da mensagem até o seu destino final é dos veículos que serão tratados como OBUs.

Para saber qual veículo poderá retransmitir o alerta disseminado, cada OBU ou RSU terá uma tabela onde é feito o mapeamento dos elementos de rede ativos presentes em sua área de cobertura. Esta tabela tem como propósito permitir a identificação dos dois elementos mais distantes. Estes elementos podem estar em qualquer direção da via e serão selecionados para receber tanto o alerta quanto a autorização para fazer seu encaminhamento. Os nós com permissão para encaminhamento das mensagens terão sua identificação indicada entre as informações disponíveis no alerta. Os demais elementos presentes na área de alcance, mesmo recebendo o alerta não possuem autorização de disseminação, ou seja, não podem passá-lo adiante.

A mensagem terá a localização do veículo acidentado obtida através dos dados do GPS da OBU, além de quais tipos de recursos serão despendidos para efetuar o socorro daqueles que foram afetados pelo acidente (de acordo com o cancelamento ou não da mensagem de emergência). Os pontos de apoio são responsáveis por finalizar a disseminação da mensagem, assim como os veículos que irão atender a ocorrência.

Sendo assim, dentro do cenário proposto as principais atividades dos equipamentos envolvidos na proposta estão listadas na Tabela 1.1.

Como as RSUs não possuem conexão entre si, cabe às OBUs a responsabilidade de fazer o encaminhamento dos alertas pela via até o seu destino. A exceção acontece em locais com rede celular disponível. Considerando que locais com este recurso em rodovias tendem a ser em menor quantidade em relação àqueles que não possuem o serviço, as RSUs, em sua maior parte, servem de suporte na comunicação. Os pontos de apoio devem apenas receber e finalizar a propagação do alerta, além de direcionar os recursos para o chamado.

Tabela 1.1: Principais atividades.

| Atividade | OBU Unidade de Bordo <i>On Board Unit</i> | RSU Unidades de Acostamento <i>Road Side Unit</i> | PA Ponto de apoio |
|--|---|---|----------------------|
| Envio de coordenadas geográficas | X | | |
| Recebimento de coordenadas geográficas | X | X | |
| Envio inicial de mensagem de alerta | X | | |
| Recebimento de mensagens de alerta | X | X | X |
| Encaminhamento de mensagens de alerta | X | X | |
| Finalização de mensagens de alerta | X | | X |

1.3 Análise da Proposta

A análise da proposta é feita através de simulação utilizando a ferramenta NS-3.24 (*Network Simulator version 3.24*). O código-base da simulação foi implementado para o simulador NS, por ARBABI e WEIGLE [18], baseado no modelo de mobilidade desenvolvido por TREIBER *et al.* [19]. Este código foi aperfeiçoado por JUNIOR [20] e ALMEIDA *et al.* [21], que o aplicaram em cenários urbanos com alto fluxo de veículos e adaptados às necessidades de seus respectivos trabalhos.

Mesmo as RSUs operando de forma independente entre si, a possibilidade de reduzir esse número foi analisada tentando tornar a proposta mais viável economicamente caso seja implantada. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade de utilização da proposta em rodovias de baixo fluxo veicular assim como utilizando um menor número de RSUs em comparação a quantidade definida por ALMEIDA *et al.* [21] em seu trabalho.

1.4 Metodologia

Para finalizar este trabalho foram efetuadas diversas etapas. Inicialmente, a etapa realizada foi voltada para o levantamento bibliográfico. Através da pesquisa, leitura e seleção de trabalhos já publicados que tenham temática relacionada a todo e qualquer assunto deste trabalho.

De posse dessas informações, foi feito o estudo do NS-3.24. Essa ferramenta foi utilizada para efetuar a simulação do cenário proposto. Sendo assim, fez-se necessário o estudo de seu funcionamento, recursos e limitações.

Conhecendo a ferramenta de simulação foi possível fazer o estudo do código a ser utilizado. Partindo do código genérico desenvolvido por ARBABI e WEIGLE [18] para a análise do código expandido e aprimorado por ALMEIDA *et al.* [21].

Este estudo permitiu entender quais partes do código deveriam ser alteradas para atender ao novo cenário proposto neste trabalho. Sendo assim, a próxima etapa do trabalho foi efetuar estas alterações.

A etapa de validação se deu através de simulações do cenário de baixo fluxo veicular onde foi analisado o comportamento da propagação de mensagens de alerta ao longo da via. A partir das análises dos dados obtidos, os resultados estão descritos nesta dissertação.

1.5 Contribuições

Agregando todos os avanços e contribuições dos trabalhos de JUNIOR [20] e ALMEIDA *et al.* [21], essa dissertação propõe um método para recebimento e propagação de mensagens de alerta em um cenário de rodovia com baixo fluxo veicular. Através de simulações é feita a análise da propagação dessas mensagens. Esta análise se deve ao fato de que mesmo em locais com baixo fluxo de veículos existe a chance de ocorrerem acidentes e as vítimas devem ser socorridas em um tempo que gere o menor impacto possível.

Foram ainda simulados cenários onde o número de RSUs é reduzido em relação aos trabalhos anteriores sendo possível simplificar a estrutura e reduzir gastos, caso esta seja implantada.

1.6 Organização

O restante dessa dissertação possui a seguinte organização:

- Capítulo 2 apresenta os conceitos básicos de redes veiculares, incluindo protocolos de comunicação e aplicações. Os trabalhos relacionados com a dissertação são também apresentados nesse capítulo;
- O Capítulo 3 possui a descrição detalhada a respeito do método proposto;
- O Capítulo 4 apresenta a descrição simplificada do código, parâmetros e os variados cenários que são analisados nas simulações assim como seus resultados utilizando o NS-3.24. Nesse mesmo capítulo também é feita a análise dos resultados;
- Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas deste trabalho e identifica direções de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos

Este capítulo apresenta conceitos teóricos referentes aos fundamentos básicos sobre redes veiculares e suas características principais, como a arquitetura WAVE e o padrão IEEE 802.11p. Descreve-se, de forma resumida, as aplicações de segurança, assistência ao condutor e entretenimento, que são consideradas as principais classificações de aplicações existentes dentro do contexto de redes veiculares. Por fim, são apresentados os trabalhos relevantes que serviram como base para esta dissertação.

2.1 Redes Veiculares

As VANETs (Redes *Ad Hoc* Veiculares) são uma subclasse das Redes *Ad Hoc* Móveis (MANETs). Uma MANET é uma rede que possui todos os seus nós móveis e cada um pode ser consumidor, produtor ou intermediador de dados [22]. Em uma VANET os equipamentos móveis utilizados para comunicação estão embarcados em veículos, podendo assim auxiliar os condutores ao longo do seu trajeto [23]. Cada automóvel é então considerado um nó na rede sendo caracterizado por apresentar alta mobilidade e previsibilidade de trajetórias dentro de uma área geográfica pré-determinada [24].

Em VANETs, os nós utilizam basicamente três arquiteturas de comunicação: V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) e V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) e V2R (*Vehicle-to-Roadside*) [1].

Na comunicação V2V (Figura 2.1), cada nó (veículo) pode se comunicar diretamente com outro nó, independente de elementos externos ou um nó centralizador, passando assim a se comportar como um roteador [25]. A mais simples das configurações oferece desvantagens significativas como a total dependência da densidade de nós e padrão de movimentação entre os veículos para não haver perdas de comunicação [25].

A comunicação V2I (Figura 2.2) ocorre entre o veículo e as RSUs fixadas as margens das estradas e rodovias, que são os nós estáticos na rede. Este modelo permite

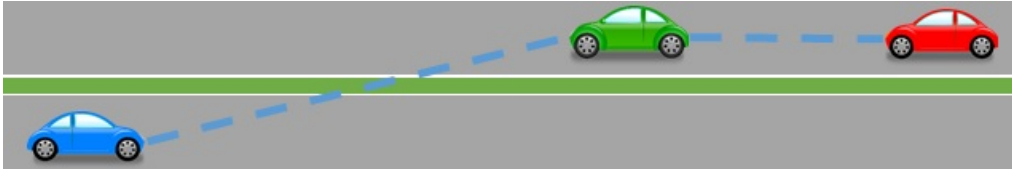


Figura 2.1: Arquitetura veículo-veículo (V2V).

maior conectividade centralizando o tráfego da rede além de possibilitar a comunicação entre redes, como a Internet [1, 26]. Porém, o uso desses equipamentos gera um aumento de custos para sua implementação quando comparado à arquitetura V2V.

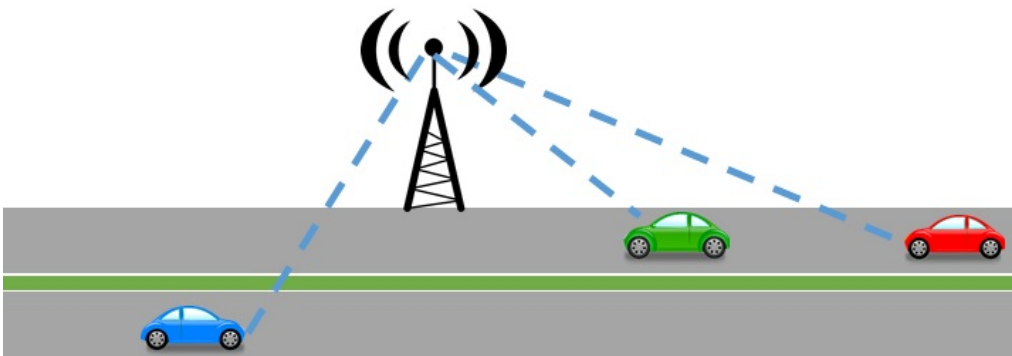


Figura 2.2: Comunicação veículo-infraestrutura (V2I).

A comunicação V2R (Figura 2.3) também é conhecida como híbrida. Esta arquitetura busca equilibrar as características das duas anteriores visando o aumento da conectividade através de uma infraestrutura mínima, permitindo que os veículos também se comuniquem [25].

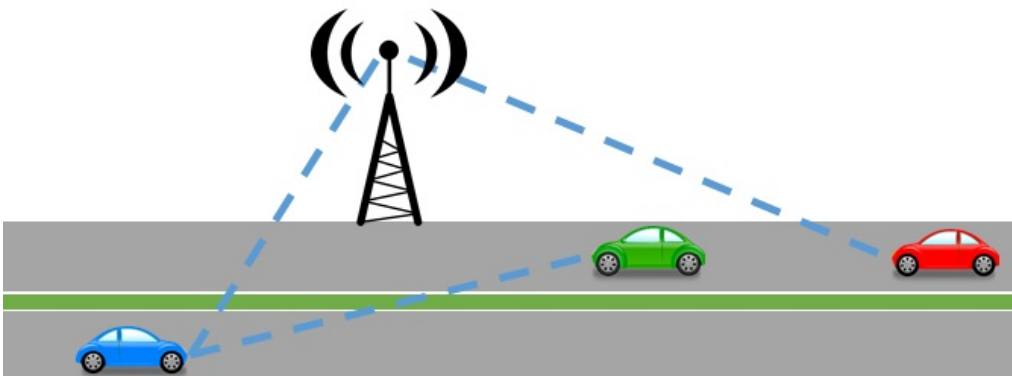


Figura 2.3: Comunicação veículo-veículo e veículo-infraestrutura (híbrida).

É possível estar em um cenário onde mais de uma arquitetura é utilizada. A Figura 2.4 busca ilustrar as três principais arquiteturas citadas anteriormente em uma mesma região.

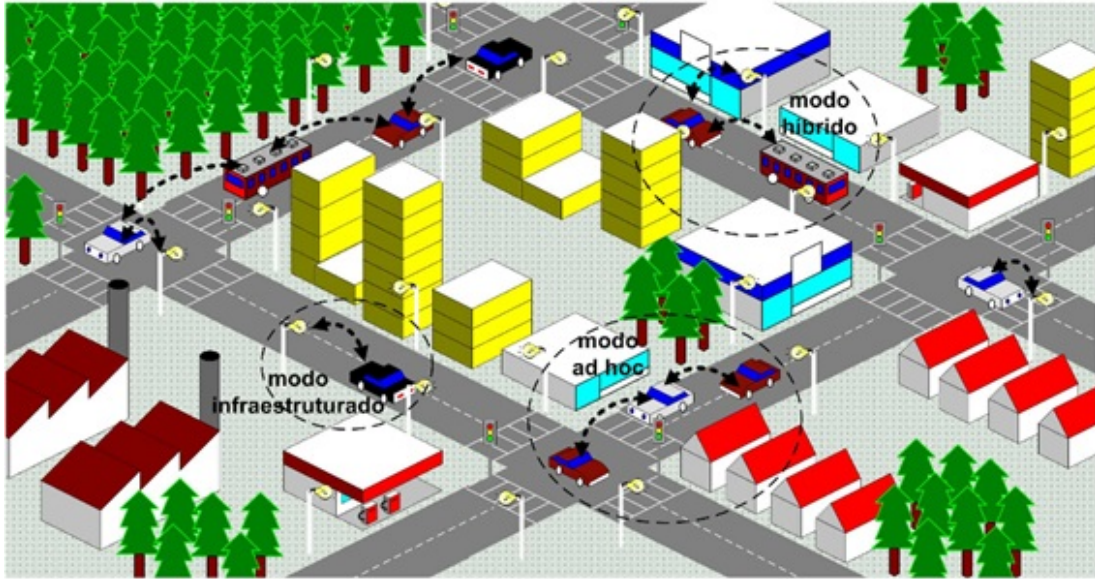


Figura 2.4: Os três principais modos de comunicação em redes veiculares [1].

Uma rede veicular pode ser utilizada tanto em áreas urbanas quanto em rodovias. Porém, entende-se que são cenários distintos, com suas respectivas necessidades e que podem exigir estratégias de roteamento mais adaptadas a cada situação. A Tabela 2.1 lista as principais diferenças entre estes dois ambientes.

Tabela 2.1: Comparação entre ambientes de redes veiculares [6].

| Característica | Rodovia | Via Urbana |
|------------------------------------|---------|------------------------|
| Velocidade | Alta | Baixa |
| Conectividade | Estável | Desconexões frequentes |
| Variação de velocidade | Baixa | Alta |
| Densidade de veículos | Baixa | Alta |
| Opções de caminhos para roteamento | Poucas | Muitas |
| Obstáculos | Poucos | Muitos |
| Previsão de mobilidade | Fácil | Difícil |

Geralmente devido ao fluxo de veículos e número de cruzamentos e interseções nas vias, a velocidade de tráfego na área urbana tende a ser mais baixa em comparação a rodovias. Porém, existe a possibilidade da área urbana ter maior estrutura para manter a conectividade estável entre os equipamentos. Em uma rodovia, existem trechos com ausência da estrutura básica para estabelecer uma conexão de forma que, seria necessário um maior investimento para proporcionar este ambiente para comunicação. A densidade dos veículos na área urbana é normalmente mais alta se comparada a uma rodovia. Adicionando fatores como a menor velocidade dos veículos, cruzamentos e a existência de semáforos, essa característica é ainda mais destacada. Por sua própria estrutura, uma rodovia oferece menos possibilidades de caminhos para roteamento em comparação uma área urbana. O número de obstáculos dentro da área urbana aumenta consideravelmente devido a uma maior

densidade de veículos, construções, canteiros e árvores. Em contrapartida, nas rodovias esses itens tendem a ser em menor quantidade ou inexistentes.

2.2 Características das VANETs

Uma VANET é uma subclasse de MANET que, por sua vez, pertence a um conjunto maior denominado redes sem-fio. A seguir são listadas as características que compõem uma VANET [27–29]:

- Densidade: pode variar de alta a baixíssima em horas quando se comparam áreas propensas a engarrafamento em horários críticos e durante a madrugada;
- Abrangência: possibilidade de atuar em áreas de alta densidade de veículos;
- Mobilidade alta: um dos pontos críticos diz respeito a mobilidade dos nós, uma vez que estão em constante deslocamento possuindo velocidades diversas. Soma-se a esta situação a possibilidade de trafegarem em direções diversas de acordo com o modelo das vias no cenário em questão;
- Topologia dinâmica: a mobilidade dos nós faz com que em determinadas situações o tempo de comunicação entre eles seja muito curto, de forma que a área de cobertura da rede esteja em constante mudança;
- Desconexões: as mudanças na topologia e na densidade, a mobilidade e até mesmo as condições climáticas podem causar um número elevado de desconexões entre os nós;
- Previsibilidade: os nós da rede possuem movimentos já esperados devido a sua limitação de trajetória dentro das vias que percorrem. Com a facilidade de acesso a dispositivos que disponibilizam informações sobre posicionamento global juntamente com mapas digitais, torna-se possível calcular uma posição futura do veículo dentro dos possíveis caminhos a serem seguidos [26];
- Energia: a disponibilidade de energia para comunicação entre os carros é praticamente ilimitada devido a constante recarga das baterias automotivas [30];
- Auto-organização: fator herdado das redes sem-fio, permite que a rede veicular possa se auto-organizar [31];
- Taxa de transmissão: como o tempo de comunicação entre os nós pode ser muito curto devido suas direções e velocidades, a troca de informações deve ocorrer rapidamente ou o volume de informações deve ser pequeno.

Essas características ao mesmo tempo apresentam-se como desafios uma vez que o controle de todos esses aspectos tende a ser complexo.

2.3 A Arquitetura WAVE

O conjunto de documentos IEEE 1609 forma o padrão desenvolvido para normatizar o WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*), no que diz respeito a comunicação sem-fio e transferência de dados entre veículos [24].

Na Tabela 2.2 são listados os termos utilizados com frequência em uma arquitetura WAVE e sua definição [1].

Tabela 2.2: Nomenclatura resumida da arquitetura WAVE [1].

| Termo | Descrição |
|--|--|
| Dispositivo WAVE | Dispositivo que implementa a subcamada MAC e a camada física de acordo com o padrão WAVE |
| WBSS (<i>WAVE Basic Service Set</i>) | Conjunto de estações WAVE consistindo de um provedor de WBSS e zero ou mais usuários de WBSS |
| WSM (<i>WAVE Short Message</i>) | Mensagem curta WAVE, enviada pelo protocolo WSMP |
| Provedor de WBS | Dispositivo iniciador de um WBSS ou emissor de WSMs |
| Usuário de WBSS | Dispositivo associado a um WBSS ou destinatário de WSMs. |

O objetivo central da arquitetura WAVE é disponibilizar um conjunto de interfaces padronizadas para possibilitar que os fabricantes de automóveis possam desenvolver veículos que comuniquem entre si (V2V) e com a infraestrutura (V2I) apropriada para auxiliar na comunicação criando, então, uma interoperabilidade entre os mesmos [1].

Seis documentos definem a arquitetura WAVE: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4, IEEE 802.11 e IEEE 802.11p [32]. Na Figura 2.5 pode-se observar a pilha de protocolos WAVE.

A arquitetura WAVE [33] pode ser resumidamente descrita como:

- IEEE P1609.1: responsável por especificar serviços e interfaces da aplicação voltada para gerenciamento de recursos. Seu foco é beneficiar a interoperabilidade das aplicações WAVE permitindo a simplificação das Unidades de Bordo. Através desta comunicação é possível acessar recursos como memória, interfaces de usuários e interfaces com outros dispositivos;
- IEEE P1609.2: responsável pela definição de formatos e processamento seguro possibilitando o envio de mensagens assim como em qual momento utilizá-las. É responsável por determinar a utilização de ferramentas de segurança habituais como também definir a existência de autoridades de certificação capacitadas para autorizar outras entidades através da emissão de certificados.

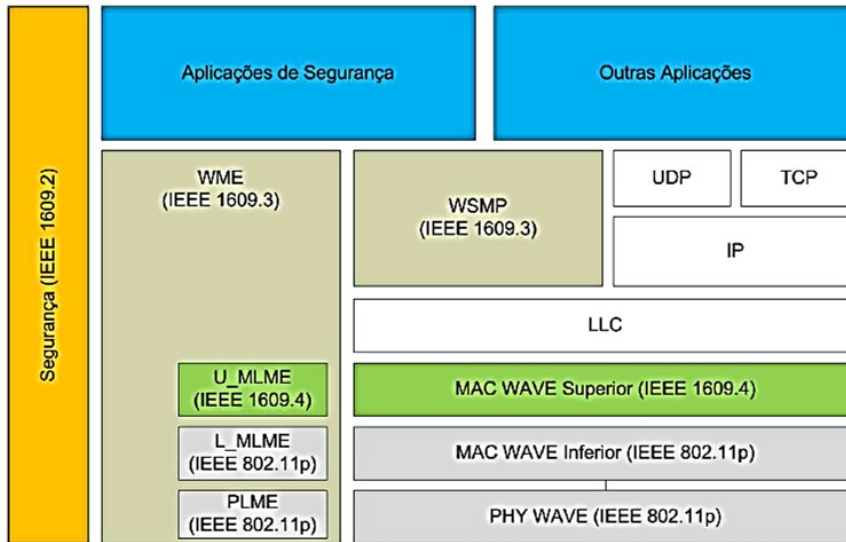


Figura 2.5: Pilha de protocolos WAVE [1].

Este padrão apresenta um recurso conhecido como gerente de segurança, que gerencia o certificado raiz e registra a listagem de certificados revogados;

- IEEE P1609.3: responsável pela especificação dos serviços pertencentes as camadas de controle e enlace lógico (conhecidas como LCC, *Logical Link Control*), rede e de transporte. A comunicação pode ocorrer utilizando IPv6 (*Internet Protocol Version 6*) ou o protocolo de mensagens curtas WAVE (WSMP ou *WAVE Short Message Protocol*);
- IEEE P1609.4: determina modificações feitas no padrão IEEE 802.11 para a sua operação em múltiplos canais;
- IEEE 802.11: responsável pela definição das camadas física e de controle de acesso ao meio no âmbito das redes veiculares;
- IEEE 802.11p: responsável por definir diferenças exclusivas referentes ao controle de acesso ao meio especificado no padrão 802.11 clássico.

O padrão nomeado como IEEE 802.11p WAVE fornece suporte a redes veiculares a partir de modificações realizadas no padrão 802.11, permitindo efetuar controle para acesso ao meio em ambientes que possuem comunicação WAVE além de considerar a alta velocidade dos veículos sendo necessário permitir comunicações eficientes em espaços de tempo pequenos [20].

2.4 Padrão IEEE 802.11p

IEEE 802.11p é um padrão derivado dos protocolos IEEE 802.11 sendo baseado particularmente no padrão IEEE 802.11a operando em 5,9 GHz [1].

Em relação a camada física, o padrão IEEE 802.11a opera em 5 GHz de forma que alterar para 5,9 GHz não é considerado algo difícil. Porém existem desafios técnicos mais complexos. No nível MAC as alterações necessárias podem ser implementadas essencialmente com melhorias de software, enquanto na camada física as melhorias necessárias podem precisar de projetos de novas tecnologias de rede [21].

Os termos da camada física do padrão IEEE 802.11p seguem formação idêntica ao padrão IEEE 802.11a, salvo a largura de banda do canal que deixou de ser 20 MHz para possuir 10 MHz [34].

Iniciar e manter uma conexão eficiente em uma rede veicular é um desafio que possui como um de seus maiores problemas o tempo. A movimentação constante dos nós resume o tempo de conexão entre si a um instante geralmente curto em que estão em uma área de cobertura em comum, ou seja, durante o tempo em que estão próximos o suficiente para se comunicar. O objetivo principal do padrão IEEE 802.11p é facilitar as atividades em um BSS, de forma a evitar que ocorra a sobrecarga natural do padrão IEEE 802.11 [21].

O processo de conexão de um nó em um BSS dentro de uma rede veicular é simplificado pelo IEEE 802.11p uma vez que pelas características inerentes desta rede, o tempo de associação pode ser prejudicial à comunicação em si. O tempo necessário para estabelecer uma conexão pode ser até mesmo superior em alguns casos em relação ao tempo em que os nós estão próximos o suficiente para se comunicarem. Os nós operando em modo WAVE utilizam um BSSID (*BSS Identification*) coringa para transmitir e receber informações de forma que não precisam estar associados a um BSS [1]. Sendo assim, as etapas de conexão e autenticação para ingressar em um BSS no IEEE 802.11 padrão foram suprimidos fazendo com que o tempo gasto também seja diminuído.

2.5 Aplicações para uso em Redes Veiculares

Podem-se resumir as muitas aplicações de redes veiculares em três grandes grupos, sendo estes os mais citados na literatura: segurança, entretenimento e assistência ao motorista.

As aplicações de segurança devem disseminar as informações imediatamente permitindo que o motorista possa ter tempo de reagir a uma situação de risco. Por outro lado, as aplicações voltadas ao entretenimento estão ligadas a aplicações da Internet devidamente adaptadas para funcionar em redes veiculares. Por fim, os recursos de assistência ao motorista visam a manipulação e recebimento de informações que auxiliam o condutor, seja através de informações do trânsito ou sobre recursos disponíveis ao longo do trajeto, por exemplo [25].

Outras classificações de aplicações desenvolvidas para redes veiculares são apre-

sentadas na Tabela 2.3 [7].

Tabela 2.3: Categorização das aplicações VANETs segundo CUNHA *et al.* [7].

| Classe de Aplicações | Características a Considerar | Propriedades Desejáveis em Protocolos | Desafios | Exemplos |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Segurança | Atraso | Confiabilidade | Reduzir a latência | Alerta de colisão, Colisão de interseção, Aviso na travessia de pedestre, Mudança de faixa de Motocicleta/Ciclista |
| Eficiência | Disponibilidade | Tempo-real Confiabilidade | Disponibilidade de serviços | Fluxo de tráfego, Condição da Estrada, Perigos na estrada. |
| Conforto | Confiabilidade | Tempo-real | Suporte sob demanda | Espaço para estacionamento grátis, Download de músicas, Reproduzir vídeos. |
| Entretenimento Interativo | Conectividade e disponibilidade | Comunicação <i>Unicast</i> | Manter sincronização | Jogos, atividades Síncronas e outras atividades da Internet. |
| Entretenimento não interativo | Tolerante a atraso | Disseminação de dados | Transferência de dados apropriada | Download de vídeos, atividades assíncronas. |
| Sensoriamento urbano | Mobilidade | Coleção de dados | Segurança em comunicação de dados | Fotografias, condições da estrada. |

A constante evolução de soluções e o desenvolvimento de novas propostas para o cenário de redes veiculares pode permitir que uma mesma aplicação possua recursos de categorias distintas. Também é possível que uma nova categoria seja criada visando atender novas demandas e solucionar problemas enfrentados pelas aplicações já existentes.

2.5.1 Aplicações voltadas para assistência ao condutor

As aplicações voltadas para o condutor possuem tipos variados como informações turísticas, localização de postos de pedágio ou postos de abastecimento [1].

As aplicações que visam melhorar o tráfego e aperfeiçoar rotas se encontram nesta classificação.

Pode-se citar aplicações para combinar fluxos veiculares diversos (*ramp metering*), que visam a coordenação da chegada de veículos em cruzamentos melhorando a vazão no local [30]. Esse recurso proporciona economia de combustível, evitando a alteração constante de velocidade e frenagens bruscas que ocorrem facilmente neste contexto [35]. Um exemplo de aplicação seria o *Green Light Optimal Speed Advisory* [26] no qual a aplicação sugere ao motorista uma velocidade ideal para evitar ficar parando em semáforos tendo como base a localização do veículo e o tempo para

que o sinal altere de verde para vermelho. Esta aplicação busca reduzir as paradas melhorando o fluxo do tráfego e obtendo uma economia de combustível.

Existem ainda aplicações para avisos de estacionamentos, localização em mapas, informações sobre as vias, entre outros [1].

2.5.2 Aplicações de entretenimento

As aplicações voltadas para entretenimento possuem menos aspectos críticos do que aquelas citadas anteriormente, porém devem buscar maior abrangência devido a sua possibilidade de conexão com a Internet e trabalhar com maior tráfego de informações [1].

Nesta classe estão aplicações como chats, mensagens de voz, download de músicas e filmes, entre outros [31].

Uma questão a ser levantada sobre o uso desse recurso é a existência de um canal de comunicação exclusivo ou se é viável compartilhar um mesmo canal com aplicações de segurança [29].

2.5.3 Aplicações de segurança

As aplicações de segurança, foco desta dissertação, possuem como maior desafio a divulgação rápida de informações sobre acidentes, ocorrências de trânsito ou notificações sobre as vias entre os veículos. O raio de propagação das mensagens geralmente atinge apenas as proximidades do local sobre o qual a informação diz respeito [1]. Dessa forma, o motorista terá tempo de tomar uma decisão sobre como proceder, caso queira pegar uma rota alternativa, diminuir a velocidade ou ativar uma sinalização de segurança, por exemplo [31].

Uma vez detectado um evento que deve ser notificado, o primeiro nó da rede fará a comunicação com os seus vizinhos de acordo com o método de disseminação escolhido pela aplicação em uso. A Figura 2.6 exemplifica um veículo acidentado efetuando a notificação do acidente para o nó mais próximo e como o alerta é enviado para os outros nós nas proximidades.

Visando ilustrar melhor o conceito, são apresentados dois tipos de aplicações de segurança e seus requisitos [26]:

- *Aplicações cooperativas de alerta de colisão*: visam alertar o condutor sobre aproximação crítica dos veículos para evitar choques entre si. Para que esse recurso seja eficiente deve-se possuir capacidade de compartilhamento de informações entre veículos, obter com precisão o posicionamento relativo dos veículos próximos e trabalhar com informações confiáveis. Sendo assim, é possível monitorar veículos vizinhos e evitar colisões entre os mesmos;

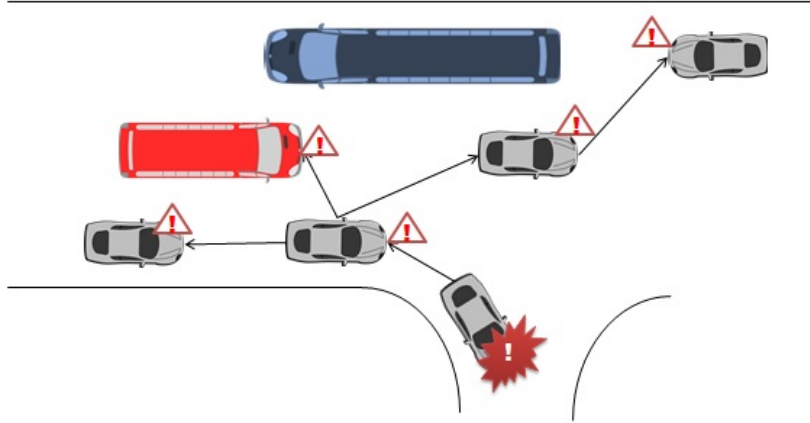


Figura 2.6: Detecção de eventos de risco [2].

- *Aplicações de colisão iminente:* busca-se amenizar os danos causados pelo acidente enviando a previsão de colisão, uma vez que esta é inevitável. Além das características citadas em aplicações de alerta de colisão que também serão válidas neste cenário, é necessário haver trocas rápidas sobre as informações de colisão entre todos os veículos que estão envolvidos na situação antes do choque.

Tratando-se de aplicações de segurança, o tempo é algo crítico uma vez que os motoristas precisam de informações a tempo de reagir e evitar acidentes maiores e mais graves. Segundo GREEN [36], o tempo necessário para a informação ser propagada e gerar uma reação no motorista varia entre 0,7 e 1,5 segundos. Deve-se lembrar que a mobilidade, a densidade e a estrutura da rede influenciam na possibilidade de estabelecer conexões rapidamente. Sendo assim, o curto tempo para efetuar a propagação pode ainda ser um desafio em determinados cenários para garantir de fato a segurança de condutores e passageiros.

Na ocorrência do acidente, é possível também que sejam enviadas mensagens para serviços de emergência sem que haja intervenção humana, acelerando o socorro e demais providências.

2.6 Desafios

Diante do cenário de atuação das redes veiculares, percebe-se que seu funcionamento pleno está cercado de desafios. Destacam-se [27]:

- **Encobrimento de sinal:** dois veículos em comunicação podem ser afetados caso algum objeto se localize mesmo que temporariamente entre eles. Esse objeto pode ser uma placa, uma construção ou outro veículo;

- Limitações de banda: o gerenciamento de banda evita congestionamento no canal, porém este tipo de rede não possui um gerenciador de comunicação dos nós, que seria o responsável por esta atividade;
- Conectividade: as frequentes desconexões atrapalham o funcionamento da rede de forma que se busca manter a conexão pelo maior tempo possível;
- Tamanho do diâmetro: os nós de uma rede veicular possuem uma conectividade fraca devido ao diâmetro pequeno da área de alcance dos mesmos em relação ao tamanho total da rede. Sendo assim, não existe a possibilidade de um nó obter uma topologia global da rede ou um algoritmo de roteamento existente para redes *ad hoc* funcionar corretamente;
- Privacidade e segurança: dois conceitos necessários e contraditórios dentro do cenário de redes veiculares. Um receptor deve obter informações apenas de fontes seguras, mas revelar a identidade do emissor pode conflitar com as condições de privacidade do mesmo;
- Protocolos de roteamento: considerado crítico, o desenvolvimento de um protocolo de roteamento eficiente capaz de realizar entregas de pacotes com tempo e perdas mínimos.

Para contornar estes problemas e aperfeiçoar cada vez mais o comportamento de uma rede veicular, novos métodos são estudados e desenvolvidos. Deve-se buscar porém, aqueles que melhor se comportam dentro do cenário no qual a rede veicular será proposta uma vez que cada cenário possui suas particularidades e nem todas as soluções serão válidas de uma maneira generalizada.

2.7 Roteamento

Em um primeiro momento, o roteamento em redes veiculares usava protocolos já existentes adaptados para este novo contexto. Porém as particularidades fizeram com que os resultados obtidos não fossem satisfatórios [30].

Analisar e escolher a forma de roteamento no cenário de redes veiculares se torna um grande desafio. Porém, a análise deste fator é um ponto crucial para determinar se um método de comunicação entre os nós da rede será eficiente ou não. Em ALVES *et al.* [1] são listados os principais protocolos de roteamento classificados em topológicos, geográficos, oportunistas e de disseminação de informações.

Um protocolo de roteamento baseado em topologia é aquele capaz de detectar o melhor caminho independente do destino e origem selecionados sendo que, o melhor caminho é caracterizado como o que possui menor custo. Dentro dessa classificação

é possível subdividi-los em proativos, reativos e híbridos. Protocolos proativos possuem uma lista de rotas para cada nó da rede constantemente atualizada, protocolos reativos obtêm a rota apenas quando esta for usada para envio de dados e, por fim, os protocolos híbridos resultam de ambos modelos anteriores que podem se comportar por exemplo, possuindo uma tabela de roteamento que será atualizada apenas nas rotas de uso mais constante [37].

Um roteamento baseado em posicionamento ou roteamento geográfico, geralmente convencionam um cenário no qual todos os nós da rede possuem algum sistema de localização, além de utilizarem informações sobre a topologia das vias baseadas em mapas digitais. Para que este tipo de roteamento seja implementado é necessário que cada nó seja capaz de determinar sua própria localização e que o emissor reconheça a localização do destino para que não ocorram perdas dos dados a serem transmitidos [3].

Pode-se utilizar duas técnicas para a realização de um roteamento geográfico sendo [3]:

- Encaminhamento geográfico: os nós efetuam a transmissão de pacotes de dados diretamente para o seu vizinho mais próximo até atingir o local especificado no pacote. Deve-se atentar que neste cenário é possível que a mensagem atinja um ponto onde não há mais conectividade possível para o seu destino final (zonas mortas);
- Roteamento por perímetro: o roteamento de pacotes ocorre dentro de janelas da rede através da utilização de algoritmos de grafos capazes de detectar essas janelas e alcançar os nós caracterizados com destino, como ilustra a Figura 2.7.

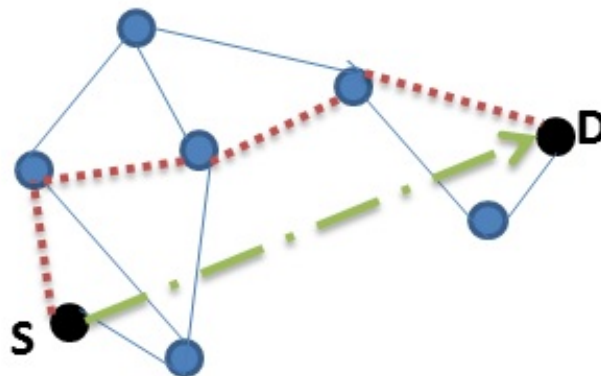


Figura 2.7: O nó S envia um pacote para o nó D e a linha pontilhada mostra o caminho da mensagem contornando a janela [3].

No roteamento oportunístico a ideia básica é que assim que seja possível a conexão entre dois veículos, deve ocorrer a troca de mensagens entre eles.

Por fim, no roteamento de disseminação de informações que são protocolos importantes para redes veiculares uma vez que aplicações voltadas para assistência ao motorista necessitam deste serviço em regiões delimitadas de forma eficiente [1].

Nesta dissertação o tipo de roteamento escolhido para a proposta se baseia na localização dos nós, de forma que, apenas os dois nós mais distantes receberão permissão para encaminhar o alerta recebido.

2.8 Simulação em redes veiculares

A utilização de simulações para testar novas tecnologias é uma atividade comum e necessária em muitas situações. Como as VANETs ainda possuem muito espaço para melhorias antes de uma implantação segura e eficiente, este é mais um cenário com várias possibilidades de simulação. Afinal, nos cenários onde são analisadas situações com acidentes, a simulação pode poupar perdas monetárias e humanas. Em cenários onde não ocorra este tipo de evento, a simulação ajuda a diminuir os custos.

Testes de campo para VANETs são considerados de alta complexidade e alto custo devido a quantidade de veículos necessários e os cenários reais de trânsito [38].

Tradicionalmente, um simulador de VANET é resultado da junção de um simulador de rede com um simulador de tráfego, como pode ser visto na Figura 2.8.

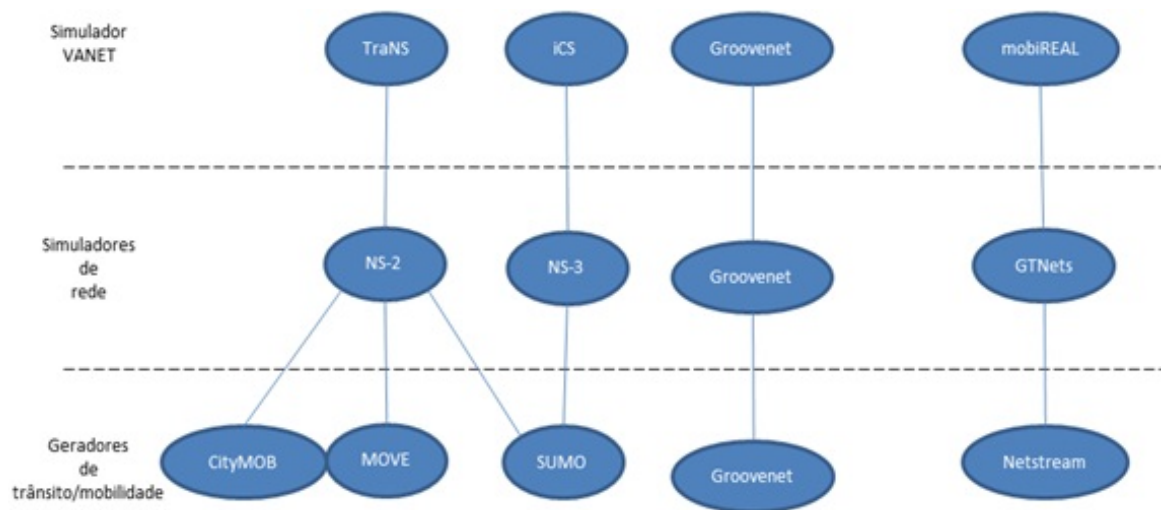


Figura 2.8: Simuladores diversos e sua junção para constituir um simulador VANET (baseado em [4]).

Porém, uma parte significativa destes simuladores não fazem uma interação satisfatória de seus componentes uma vez que não foram desenvolvidos para trabalhar com VANETs [39].

2.8.1 Configuração de simuladores para uma VANET

As possíveis combinações entre os simuladores voltados para tráfego e rede podem ser resumidas como [4]:

- Simuladores isolados ou separados: são aqueles nos quais os simuladores trabalham de forma isolada. O simulador de tráfego gera as suas informações que são depois transferidas para o simulador de rede que irá trabalhar sobre as mesmas. Mesmo sendo um modelo aparentemente limitado, é válido lembrar que existem vários trabalhos realizados desta forma;
- Simuladores integrados ou embutidos: neste caso, um simulador está acoplado ao outro. Juntos, são parte de um todo e durante a geração de informações resultantes da simulação, ocorre interação bilateral;
- Simuladores federados: os simuladores são separados, porém possuem uma interface responsável por fazer a comunicação bidirecional e controle das informações entre os simuladores durante a realização da simulação.

A escolha sobre qual método será utilizado, é influenciada pelo nível de confiabilidade dos simuladores, tipo de cenário a ser simulado e seus parâmetros além do grau de experiência de quem estará conduzindo a simulação.

2.8.2 Simulador NS

O NS-3 é um simulador de rede essencialmente para usos educacionais e em pesquisas, sendo um software livre cujo o seu principal objetivo é proporcionar um ambiente aberto de simulação para pesquisas [40]. Seu projeto foi iniciado em 2006 e atualmente está disponível na versão 3.26 permitindo a modelagem de redes de computadores realistas. Além das simulações, o NS-3 provê modelagens de como redes de dados em pacotes se comportam.

Os cenários que são simulados no NS-3 possuem sua implementação feita em C++ mas também permite a inserção de partes do código em Python. Desde sua versão 19 é possível realizar simulações de ambientes com redes veiculares implementando módulos com o padrão IEEE 802.11p [21].

Deve-se atentar para o fato de que o NS-3 é um simulador diferente e não uma mera evolução do NS-2 mesmo que algumas funcionalidades deste foram mantidas [40]. Entre as principais diferenças entre o NS-2 e o NS-3 pode-se citar [41]:

- Estrutura do núcleo: o núcleo do NS-3 é composto por C++ e Python enquanto o NS-2 foi desenvolvido em OTcl;

- Realismo: o novo NS foi projetado para obter resultados mais fiéis a máquinas reais suportando interfaces como soquetes e dispositivos de rede, vários nós e utilização de endereços IP entre outros;
- Integração de software: permite a incorporação de softwares de rede de forma que não é obrigatório reescrever modelos voltados para simulação;
- Virtualização: o NS-3 permite o uso de máquinas virtuais leves;
- Rastreamento: o NS-3 está desenvolvendo um framework para efetuar o rastreamento e coleta de estatísticas.

O NS-3 foi elaborado com suporte a bibliotecas externas de software. Sendo assim, outros simuladores e ferramentas de análise externa podem ser utilizados em conjunto flexibilizando o uso e permitindo maior aproveitamento das ferramentas. Geralmente o NS-3 é utilizado no Linux, como é o caso deste trabalho, mas pode ser executado em FreeBSD, Cygwin (para uso no Windows) e suporte nativo do Windows Visual Studio para efetuar seu desenvolvimento [40].

2.9 Trabalho Relacionados

Esta seção resume os principais trabalhos relacionados ao cenário e aos objetivos propostos nesta dissertação. Os trabalhos se referem a detecção automática de acidentes, controle de sobrecarga do canal de comunicação entre os nós da rede e trabalhos que utilizaram a versões do código de simulação utilizado nesta dissertação.

2.9.1 Identificação automática de acidente

A detecção de um acidente automobilístico com base em sensores permite que um alerta seja gerado independentemente do condutor estar ou não consciente após o evento. Esta possibilidade é muito importante considerando-se que em acidentes de maior gravidade pode ocorrer a perda da consciência daqueles que se encontram no veículo. Caso o veículo tenha permanecido na via ou no acostamento após o acidente é fácil para terceiros solicitarem auxílio, mas nem sempre isso ocorre. É importante considerar os casos em que a vegetação ou o local de acesso ruim não permitem a visualização do veículo por aqueles que permanecem na rodovia seguindo sua trajetória. Nesta situação as vítimas correm maior risco devido a possível demora para sua localização e atendimento.

FAIZ *et al.* [42] desenvolveram um aplicativo baseado em Android com o propósito de efetuar a detecção e enviar uma mensagem SMS de alerta para a delegacia e centro médico mais próximos além de um número de emergência informado

pelo condutor cadastrado na aplicação. Para efetuar a detecção são analisados valores obtidos pelo sensor de pressão externo juntamente com aqueles fornecidos pelo acelerômetro e GPS presentes em um smartphone com Android. O GPS é utilizado para detectar mudanças de velocidade, o sensor de pressão monitora a pressão em relação ao veículo e o acelerômetro acompanha possíveis mudanças de inclinação. Se estes dados resultarem na detecção de um acidente, ainda é possível ao condutor cancelar o envio do alerta dentro de alguns segundos no caso de um falso positivo. A proposta desta dissertação foca diretamente na disseminação do alerta e não em como é realizada a detecção do acidente, porém entende-se que o uso do *smartphone* e de sensores faz-se necessário. O GPS utilizado por FAIZ *et al.* [42] e o tempo de espera antes do envio de alerta também são recursos em comum.

FERNANDES *et al.* [43] propõem um aplicativo Android que captura informações do veículo e dos sensores do smartphone (acelerômetro, magnetômetro e giroscópio). O aplicativo é voltado para a detecção de acidentes integrando o envio de alerta para contatos previamente cadastrados na aplicação através de e-mail e mensagens utilizando o IEEE 802.11p, sendo este o padrão utilizado na proposta desta dissertação. Isso permite que os condutores recebam mensagens de outros veículos próximos e cancelem o envio das mesmas ao detectarem um falso alerta. O sistema relatado no trabalho utiliza uma conexão USB do veículo com o aparelho celular gerando maior economia de bateria em comparação ao uso da tecnologia Bluetooth, que também é suportada. O smartphone é utilizado como unidade de aplicação (UA) em razão de seus recursos de hardware e software. A tela da aplicação busca a simplicidade visando obter informações em um curto espaço de tempo. O usuário faz a configuração do número de emergência a ser acionado no caso de acidentes assim como outros contatos de sua preferência. Ao detectar um acidente a contagem regressiva é inicializada pelo sistema e fica visível para o usuário para que este possa cancelar o processo antes do término da contagem que irá disparar as mensagens de emergência. Em uma situação real de acidente pode ocorrer o lançamento do smartphone para fora de sua posição e este ser desconectado do USB do veículo. Porém, a aplicação continua em funcionamento em busca da detecção de acidente e envio de mensagens de emergência. A simplicidade para interação entre usuário e *smartphone* é um aspecto a ser seguido em aplicações para uso em uma rede veicular uma vez não há intenção de dispersar a atenção do condutor.

2.9.2 Disseminação de mensagens de alerta e controle de tráfego de rede

Muitos trabalhos visam controlar a sobrecarga durante a propagação de mensagens. O envio de pacotes em uma rede assim como as confirmações a respeito dos

mesmos pode gerar um aumento rápido e desnecessário de informações sendo propagadas simultaneamente, prejudicando o desempenho final da comunicação entre os nós. Como o tempo para efetuar a comunicação em uma rede veicular tende a ser pequeno, garantir a sua eficiência se torna um fator com alta importância. Os trabalhos de MENEGUETTE e VILLAS [31] e JIANWEI *et al.* [44] apresentam métodos para efetuar este controle.

MENEGUETTE e VILLAS [31] propuseram o ADDHV (*Autonomic Data Dissemination in Highway for VANETs*) que objetiva reduzir a sobrecarga na rede e aumentar a disseminação de dados em ambientes onde a mesma está fragmentada, obtendo como resultado uma alta taxa de entrega juntamente com baixa latência. O ADDHV define uma zona de preferência onde os veículos que se encontram nesta área possuirão uma prioridade mais alta permitindo que haja transmissão de dados. A zona de preferência é uma subárea dentro de um dos quatro quadrantes que compõem a área de comunicação. Caso não exista no momento um veículo na zona de preferência, aquele que se encontra mais distante de cada quadrante irá retransmitir a informação. Essa organização impede que veículos próximos, mas pertencentes a quadrantes distintos transmitam informações redundantes entre si. Nesta dissertação o conceito de quadrantes não é utilizado, porém a primícia de permitir que os nós mais distantes façam a propagação é mantida.

JIANWEI *et al.* [44] apresentam um algoritmo de difusão auto-adaptativo oportunista considerando a movimentação dos veículos e com controle de mensagens para evitar a sobrecarga da rede, buscando assim uma gestão eficiente do consumo de recursos disponíveis. A proposta trata da disseminação de mensagens dentro de uma área demarcada buscando, além do controle da carga da rede, efetuar o controle das mensagens duplicadas. O algoritmo desenvolvido (nomeado de AMCBS, sigla do termo em inglês *Adaptive MultiCopy And Bidirectional Spread*) trabalha com premissas, sendo elas: o tempo para estabelecer a conexão entre veículos é ignorado, cada veículo utiliza seu próprio GPS para detectar tanto sua posição quanto sua velocidade além de obter informações sobre a estrada na qual se encontra. Para esta dissertação, a informação a ser disseminada diz respeito a um acidente e o GPS tem a função de informar a localização do nó acidentado além de auxiliar a identificação dos nós mais distantes.

Para esta dissertação a propagação de mensagens e controle da possibilidade de sobrecarga no canal de comunicação é baseada na proposta de LEE *et al.* [5], que apresentam um método para propagar mensagens de alerta em uma VANET baseada na seleção de responsáveis pela retransmissão. Com isso, pretende-se minimizar os nós com permissão para retransmitir a mensagem e garantir a entrega rápida e confiável das mesmas a todos os nós que se encontram na área de alcance. Cada nó faz o acompanhamento de seus vizinhos através de informações trocadas por

mensagens que alimentam uma tabela de localização. Com base nessas informações os nós com prioridade para distribuir as mensagens são escolhidos. Ao detectar uma mensagem criada por uma emergência, o nó prepara a mensagem e a transmite instantaneamente. Quando um nó recebe uma mensagem de emergência apenas o nó determinado previamente com base na sua localização pode reencaminhá-la. Sendo assim, todos os nós recebem o alerta dando a possibilidade de notificar o condutor, porém poucos irão retransmiti-la. A Figura 2.9 ilustra de acordo com LEE *et al.* [5] como é realizado o processo de propagação de mensagens buscando controlar o número de mensagens disseminadas.

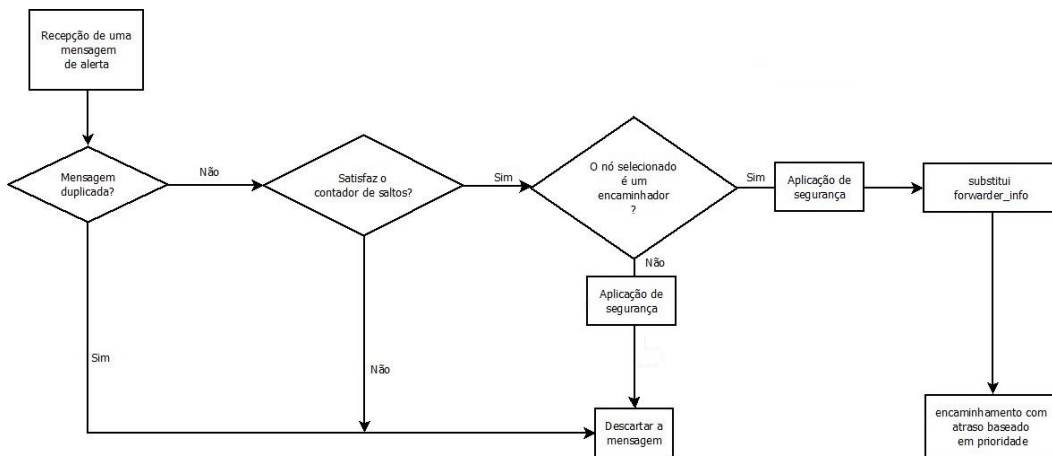


Figura 2.9: Proposta de método para propagação da mensagem de alerta [5].

De acordo com a Figura 2.9, uma vez que a mensagem é detectada ela apenas será considerada pela aplicação presente no aparelho celular, se a mesma não for duplicada (com base na sua ID) e se o contador de saltos for satisfeito (a mensagem não é propagada indefinidamente, atingindo no máximo 12 saltos). Caso este nó seja considerado um nó encaminhador (com base na sua distância, o encaminhador que possui o menor tempo de espera da mensagem possui maior prioridade para efetuar a transmissão do alerta), ele poderá encaminhar a mensagem para os dois nós mais distantes na sua área de alcance. Caso contrário, a mensagem será descartada.

Entre as várias informações que podem compor uma mensagem de emergência a ser propagada, alguns campos com informações pessoais do condutor podem ser inseridos. Existem trabalhos na literatura como os que foram apresentados por FERNANDES *et al.* [43] e NIRBHAVANE e PRABHA [45] em que os condutores podem cadastrar contatos de familiares e informações pessoais como tipo sanguíneo diretamente na aplicação da OBU para serem utilizadas no caso de haver alguma emergência. Essas informações não são utilizadas neste trabalho visando a propagação rápida de uma mensagem pequena.

2.9.3 Movimentação e Localização dos Veículos

ARBABI e WEIGLE [18] apresentaram um trabalho disponibilizando um código para uso no NS-3 com cinco classes principais que se baseiam no modelo de mobilidade *Intelligent Driver Model* (IDM) e no modelo de troca de faixa *Minimizing Overall Braking Induced by Lane Change* (MOBIL). O modelo de mobilidade IDM tem a aceleração e desaceleração do veículo dependente da posição e velocidades dos veículos localizados à sua frente. Entre as características que um veículo pode possuir neste modelo estão o valor desejado para a velocidade, tempo de avanço de forma segura onde o veículo em questão pode percorrer a distância entre dois veículos, aceleração em caso de pista livre, desaceleração segura e distância mínima em relação ao veículo localizado a sua frente [21].

Em relação ao modelo de troca de faixa MOBIL os critérios de segurança e incentivo são as características principais. O critério de segurança objetiva que não haja redução brusca de velocidade para o veículo que está logo atrás daquele que acabou de entrar em uma outra via. O critério de incentivo analisa se a vantagem do veículo (baseada no aumento da aceleração do mesmo) é maior se comparada a desvantagem obtida pelos demais (redução na aceleração) que já se encontram na nova faixa. Tendo ambos os critérios atendidos, é permitida a troca de pista pelo veículo [21].

A implementação base permite personalizações e complementações de forma que novos cenários podem ser simulados. Este código foi utilizado para realizar simulações por JUNIOR [20], que trata um sistema de monitoramento de trânsito. Esse sistema atua de forma descentralizada sem uso de GPS poupando o consumo de bateria dos dispositivos móveis utilizados e gastos do usuário. A solução proposta também pode ser implementada em locais onde não é possível obter condições para uso de energia ou rede de celulares - cenário comum de ser encontrado. No sistema proposto os veículos atuam como enlaces de comunicação possuindo cada um uma Tabela de Condição de Trecho (TCT) também presente nas RSUs ao longo da via de forma a fazer o monitoramento da via por trechos. Entende-se por trecho a área entre duas RSUs. Foi utilizada uma rede IEEE 802.11b/g para simulações e experimentos práticos.

ALMEIDA *et al.* [21] evoluíram diversos aspectos do trabalho de JUNIOR [20], substituindo o protocolo utilizado pelo IEEE 802.11p, permitindo comunicação V2V, enviando alerta de acidentes na estrada, inserindo um mecanismo de cálculo do *Time-to-Live* (TTL) das informações obtidas, fazendo a avaliação em cenários de larga escala e a avaliação e análise das informações de rede. A proposta se resume a um sistema descentralizado voltado para monitorar e divulgar as condições de trânsito de forma colaborativa entre OBUs e RSUs sem que estas necessariamente

estejam interligadas. Essas informações constroem uma tabela referente as condições dos diferentes trechos que constituem a via. Cada valor informado possui seu TTL (*Time-to-Live*) em segundos, sendo que cada equipamento é responsável por seu controle decrementando com base no seu próprio relógio até que a informação se torne obsoleta ao atingir o tempo zero. O trabalho também se refere a um cenário com alto fluxo veicular tendo por base a Marginal Tietê, localizada na cidade de São Paulo. A simulação foi desenvolvida em cenários com duas ou três vias onde cada sentido possui dez quilômetros de extensão e considerando que apenas 33% dos veículos são considerados OBUs. O conceito da TTL mantido até então é alterado para a tabela de nós vizinhos, necessária para a seleção do nó encaminhador do alerta na proposta desta dissertação.

Tanto ALMEIDA *et al.* [21] quanto JUNIOR [20] desenvolveram suas propostas com base em cenários de alto fluxo veicular. Essa dissertação analisa o comportamento das propostas desses autores diante de um cenário com baixo fluxo veicular onde a transmissão automática de alertas de acidentes pode se tornar um fator decisivo para efetuar um rápido atendimento a possíveis vítimas. A distância entre as RSUs ao longo da via onde ambos os trabalhos tiveram 500 metros como valor fixo também foi alterado sendo simulados cenários com 600, 700 e 800 metros de distância entre si a fim de testar a viabilidade de melhorar o custo-benefício da proposta.

A descrição das atividades de cada equipamento na rede assim como algumas possíveis ocorrências dentro do cenário proposto para simulação são descritos no capítulo a seguir.

Capítulo 3

Método Proposto para Propagação de Mensagens

Este capítulo apresenta em detalhes a proposta deste trabalho descrevendo as tarefas desenvolvidas por OBUs e RSUs. Com base nos trabalhos de JUNIOR [20] e ALMEIDA *et al.* [21] foram efetuadas alterações para propor um método baseado em cenários de baixo fluxo veicular. A estrutura de comunicação é composta pelas OBUs, RSUs e os pontos de apoio. No cenário usado como base, entende-se que as OBUS estão localizadas nos veículos que se deslocam ao longo da via enquanto as RSUs são instaladas em um canteiro central localizado entre as faixas de sentidos opostos na rodovia. Os pontos de apoio por sua vez se encontram nas extremidades da via. Essa estrutura é utilizada para o envio de mensagens de alerta em toda a extensão da via em ambas as direções notificando os pontos de apoio sobre acidentes para que estes efetuem o atendimento.

3.1 Proposta

A utilização de redes veiculares pode favorecer e melhorar a condição de condutores em diversos cenários. Ao ocorrer um acidente na área urbana, há menos dificuldades para entrar em contato com serviços de assistência e também para que os mesmos cheguem até o local visando iniciar o atendimento. Além dessa finalidade, as informações disseminadas podem orientar outros condutores sobre a região do acidente para que estes evitem causar congestionamentos e possam utilizar rotas alternativas. Porém, os cenários de rodovias são aqueles onde as vantagens se tornam mais perceptíveis.

Nas rodovias podem ocorrer eventos que necessitem de assistência urgente em locais de difícil acesso e visibilidade (muita vegetação e ribanceiras, por exemplo) onde um ou mais veículos poderiam se acidentar ao longo de sua trajetória. O

tempo gasto para um veículo acidentado ser detectado e contactar algum ponto de apoio para receber socorro pode se tornar demasiadamente longo e causar perdas consideráveis.

A proposta desta dissertação é analisar o envio de mensagens de emergência em uma rodovia que possui uma rede veicular híbrida permitindo comunicação entre OBUs e RSUs, tendo como principal característica o baixo fluxo de veículos. Entende-se por rede veicular híbrida aquela onde é possível a conexão V2I e V2V.

Qualquer proposta que faça a disseminação de mensagens de emergência deve levar em conta a densidade de veículos, o horário do acidente, a localização do(s) veículo(s) acidentado(s), o número de mensagens e a cobertura de rede (celular ou outra). Há ainda o fato de haver ou não a possibilidade do condutor acionar o pedido de socorro. Não havendo, deve-se contar que terceiros façam a notificação pelo acidentado. Por estar em uma rodovia, não há garantias de moradias ou postos de auxílio imediatamente próximos, portanto há a dependência do fluxo de veículos no local. Quanto maior o fluxo, maior a chance da notificação ocorrer em um pequeno espaço de tempo. Porém, se o veículo está em um local com pouca visibilidade, se está afastado da pista, se é noite ou há outro dificultador, as chances de atraso na identificação do problema e, conseqüentemente, no socorro aumentam consideravelmente. Portanto utilizar um sistema de detecção automática de acidentes, permitindo que dispositivos façam o envio do alerta sem precisar da interferência humana, se torna um recurso relevante.

Caso o veículo que emite o alerta esteja na área de alcance de uma RSU esta também poderá receber o alerta. A localização do veículo acidentado é fornecida com base em valores do GPS garantindo maior precisão para agilizar o atendimento. Para evitar falso positivo, há um prazo no qual o condutor pode suspender o envio da mensagem de alerta ou ainda informar qual tipo de mensagem deve ser enviada. Essas possibilidades estariam disponíveis na interface do aplicativo a ser desenvolvido para celulares que se comportariam como OBUs. Vale lembrar que o desenvolvimento deste aplicativo não é um aspecto abordado neste trabalho, ficando estas características como requisitos para uma futura aplicação.

Para ilustrar o funcionamento do método proposto, usamos um cenário representado pela Figura 3.1, sendo constituído de uma rodovia bidirecional com as vias separadas por um canteiro central onde estão alocadas as RSUs, que são independentes entre si. Por possuir baixo fluxo veicular, as possibilidades de algum veículo se aproximar do local do acidente e fazer a detecção do mesmo são reduzidas. Devido a este fator, torna-se de altamente importante organizar a comunicação entre todos os nós da rede de forma eficiente para que o atendimento aos envolvidos no acidente ocorra com rapidez. Nas extremidades da área ilustrada são encontrados pontos de apoio contendo guincho, ambulância e viaturas assim como geralmente

ocorre em trechos de rodovias privatizadas.

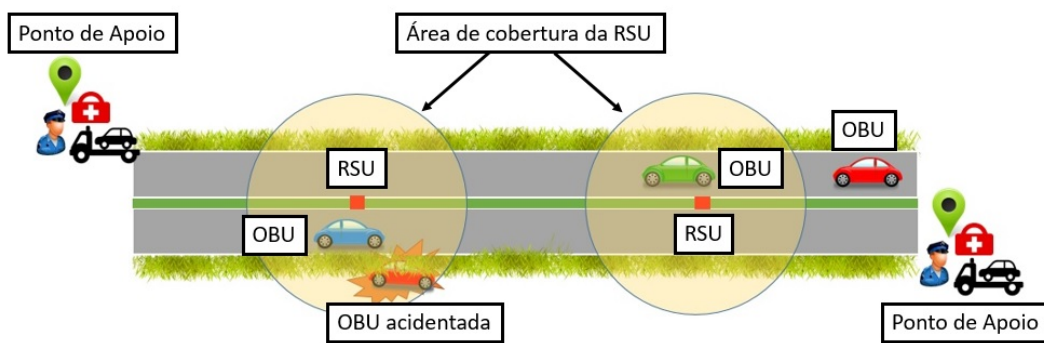


Figura 3.1: Cenário analisado.

Ao detectar que sofreu um acidente a OBU tenta enviar um SMS. Não obtendo confirmação, após três tentativas inicia a disseminação do alerta em *broadcast*. Dada sua posição na Figura 3.1, por exemplo, os primeiros a receber o alerta serão a RSU e uma das OBUs pois já estão na área de alcance do veículo acidentado e conseguem estabelecer comunicação com o mesmo. Neste caso, tanto a RSU quanto a OBU passarão a encaminhar a mensagem juntamente com a autorização que as duas OBUs mais distantes possuirão para encaminhá-la em suas respectivas áreas de cobertura. A presença de rede celular no local é um facilitador permitindo o envio de uma mensagem SMS (*Short Message Service*) por meio de comunicação direta com um ponto de apoio.

3.1.1 Função da OBU

De acordo com o fluxograma na Figura 3.2, a atividade constante das OBUs é a divulgação da sua localização e o recebimento da localização de cada um de seus vizinhos uma vez que é necessário fazer a identificação do nó mais distante a todo momento. Essa identificação é feita através de uma tabela de vizinhos que é construída com as coordenadas das OBUs dentro da área de alcance de comunicação. Ao ocorrer um acidente, a OBU prepara o envio da mensagem de alerta de acordo com a situação informada (ocorrência simples ou grave) e inicia a propagação. Em um primeiro momento busca-se enviar via SMS, caso seja possível obter cobertura de celular na área onde ocorreu o acidente. Sendo assim, a OBU acidentada envia a mensagem e aguarda a confirmação. Para esta possibilidade são feitas até três tentativas. Caso o recebimento não seja confirmado ou ainda, a região não tenha cobertura de celular, a OBU inicia a disseminação do alerta entre RSUs e OBUs próximas.

Assim, ao ocorrer um acidente ou receber um alerta de acidente juntamente com autorização para encaminhá-lo, a OBU em questão já saberá prontamente para qual

OBU repassar o alerta (com base nas informações do encaminhador). Dessa forma busca-se economizar tempo e melhorar a eficiência do método de propagação.

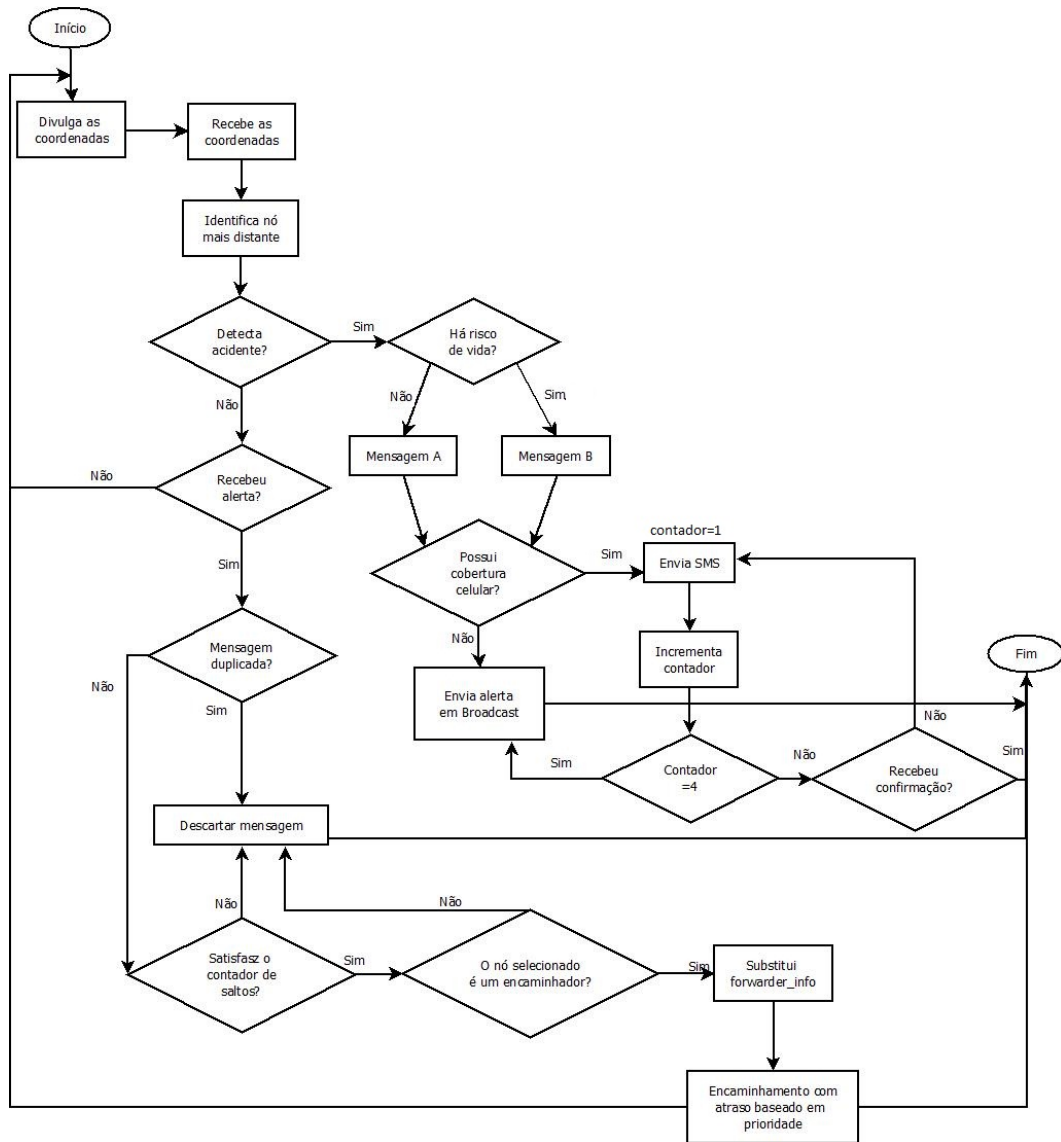


Figura 3.2: Fluxograma de recebimento e propagação de mensagens de alerta pela OBU.

É importante ressaltar que neste trabalho o foco é notificar os pontos de apoio para que possam realizar rapidamente o socorro e não os condutores que estão próximos do local. Os veículos, ao terem um dispositivo configurado e se tornarem uma OBU, são responsáveis por transportar o alerta até o ponto de apoio.

Caso a OBU não tenha detectado o acidente mas recebeu um alerta vindo de outra OBU, serão adotados os critérios baseados no trabalho de LEE *et al.* [5], onde é analisado se a mensagem é duplicada (já recebida anteriormente), se o contador de saltos foi satisfeito (no máximo de 12 saltos) e por fim, se o nó em questão é um nó encaminhador. Caso seja um encaminhador, este terá autorização para enviar a mensagem para os nós seleccionados de acordo com suas respectivas posições

dentro da área de alcance. Caso não seja, a mensagem será descartada. Uma OBU descartará a mensagem de alerta e finalizará seu encaminhamento em três situações:

- Situação 1 - OBU passou por um ponto de apoio: os pontos de apoio, localizados nas extremidades da área monitorada, emitirão o sinal de finalização de envio de alerta com a base no ID da mensagem já que pode ocorrer mais de um acidente dentro da área monitorada no mesmo espaço de tempo. Isso permite que a disseminação seja finalizada quando houver resposta de atendimento da ocorrência como também para evitar que a mensagem seja propagada para fora da área monitorada;
- Situação 2 - Não é um nó encaminhador: se a OBU não possui autorização para encaminhar a mensagem essa será descartada após o recebimento. Ao enviar o alerta em *broadcast* todas as OBUs receberão a mensagem mas apenas as duas detectadas como mais distantes receberão a autorização para encaminhá-la;
- Situação 3 - Ocorrência já atendida: os veículos de socorro mobilizados para atender a ocorrência irão trafegar pela rodovia emitindo o mesmo sinal do ponto de apoio indicando que a mensagem foi recebida. Com o auxílio a caminho torna-se desnecessário continuar emitindo o alerta para o ponto de apoio.

3.1.2 Função da RSU

As RSUs atuam individualmente com o propósito de acelerar o envio da mensagem até o ponto de apoio, caso tenha acesso à rede de telefonia celular ou manter o alerta ativo para transmiti-lo a um veículo que passar na via após o acidente, no caso de um tráfego extremamente baixo.

As RSUs trocam informações com as OBUs disponíveis a todo momento. A Figura 3.3 ilustra o método de recebimento e propagação de alertas. Assim como na OBU, é feito o recebimento de coordenadas a fim de manter atualizada a identificação dos veículos mais distantes em sua área de alcance.

Por ser fixa a RSU não envia sua localização. Ela simplesmente recebe a mensagem a fim de mantê-la ativa naquele trecho mesmo na ausência de veículos. Quando uma RSU recebe mensagens com as informações sobre o alerta de acidente, caso esteja localizada em uma área com cobertura celular ou possua comunicação direta com o ponto de apoio a RSU, faz o envio direto para o mesmo. Recebendo a confirmação, é finalizada a disseminação do alerta e o canal de comunicação fica liberado novamente, caso não tenham outras ocorrências sendo enviadas. Caso não seja possível o envio direto do alerta, a RSU deve selecionar as duas OBUs mais distantes autorizando os mesmos a encaminhar a mensagem e fazer o envio do alerta

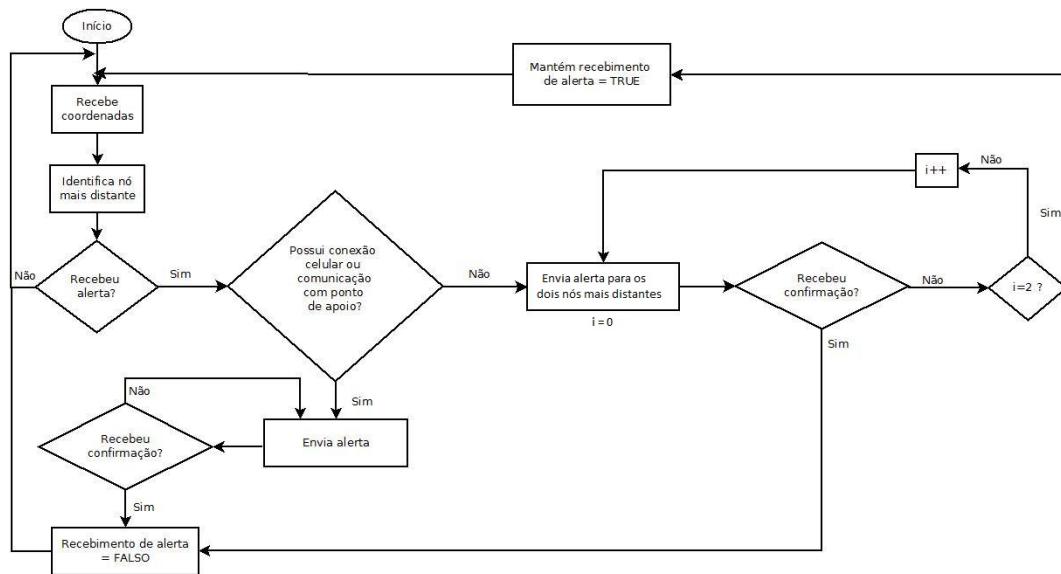


Figura 3.3: Fluxograma de recebimento e propagação de mensagens de alerta pela RSU.

em *broadcast*. No caso das RSUs, ao receberem um alerta, as mesmas já possuem autorização para encaminhá-lo uma vez que sua função dentro da estrutura proposta é dar suporte as OBU's na disseminação de mensagens.

Caso seja recebida a confirmação de entrega do alerta aos veículos selecionados, o envio é finalizado. Se após três tentativas não houve confirmação a RSU mantém o alerta ativo e volta a calcular as OBU's mais distantes com base nas coordenadas mais recentes recebidas uma vez que as primeiras OBU's selecionadas provavelmente não estarão mais no seu raio de alcance. Neste caso a mensagem poderia não chegar ao ponto de apoio ou chegaria com atraso já que deve-se aguardar a passagem de um próximo veículo para notificar o evento. A Figura 3.4 ilustra um possível cenário em uma rodovia onde este problema poderia ocorrer.

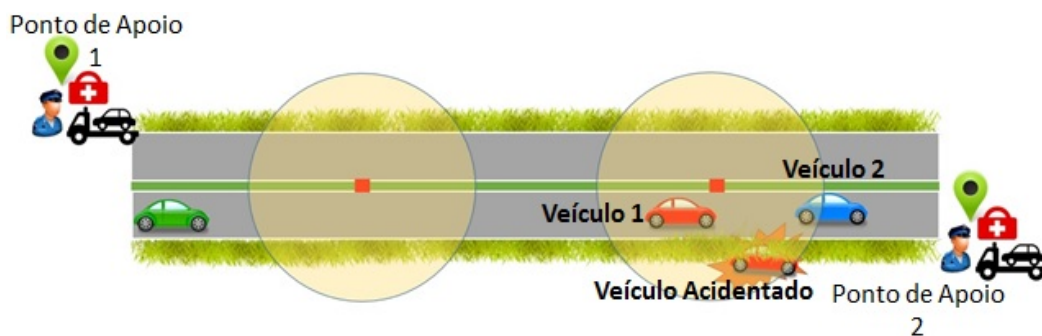


Figura 3.4: Cenário de rodovia com baixo fluxo veicular com ocorrência de acidente fora da via.

Considerando que o veículo 2 está quase saindo da área quando o alerta começou a ser emitido (Figura 3.4) é mais provável que ele tenha perda de pacotes em com-

paração ao veículo 1. Se o veículo 2 perdeu informações sobre a notificação e não confirmou o seu recebimento, caberá ao veículo 1 transmitir a mensagem. Mesmo assim, o veículo que está iniciando seu trajeto na via, mesmo estando afastado do local do acidente, também receberá a notificação podendo encaminhá-la até ponto de apoio. Caso um dos dois veículos saia da via principal, haverá um segundo efetuando a transmissão do alerta até o ponto de apoio uma vez que as RSUs não conseguem efetuar a comunicação de forma independente sem a rede celular disponível.

O Ponto de Apoio é o destino final das mensagens de alerta. Uma vez que um Ponto de Apoio é notificado, ele envia ao local do acidente os recursos solicitados para fazer o atendimento. Ele é também responsável por desativar a propagação de alertas em veículos que passam por ele saindo da área monitorada da via.

3.1.3 Tipos de mensagens

De acordo com as situações possíveis de serem notificadas nesta proposta, os dois tipos de mensagens que podem ser enviadas são:

- Mensagem A - ocorrência simples: guincho e viatura;
- Mensagem B - ocorrência grave: guincho, viatura e ambulância.

Uma ocorrência considerada simples é aquela em que o(s) ocupante(s) do veículo estão ilesos após o acidente. Sendo assim, é possível ao condutor interagir e solicitar apenas guincho e viatura para atendê-lo de forma que a ambulância não precisa de deslocar desnecessariamente. Caso após a detecção do acidente a mensagem for enviada de forma automática após o tempo de espera para que haja alguma resposta do condutor, entende-se que é uma ocorrência grave. Nestes casos, todos os recursos (guincho, viatura e ambulância) são enviados ao local do acidente que foi informado através das coordenadas do GPS enviadas na mensagem.

Na Figura 3.5, o acidente ocorre dentro da área de cobertura de uma RSU porém não há nenhum veículo próximo o suficiente para receber a notificação. Neste caso o veículo acidentado enviará o alerta unicamente para a RSU, que tentará fazer o envio via SMS. Caso não tenha sinal para fazê-lo, ela irá aguardar que algum veículo entre na sua área de cobertura, neste caso o veículo 2 que está na pista no sentido contrário.

Na Figura 3.6, o acidente ocorre fora da área de cobertura das RSUs, ou seja, ele está em um ponto cego da rodovia. Neste caso, ele está totalmente dependente do fluxo de veículos para que o alerta seja enviado.

No momento em que um veículo presente na via passar próximo ao veículo acidentado, ele receberá o alerta e começará a disseminá-lo. Ao atingir uma RSU esta

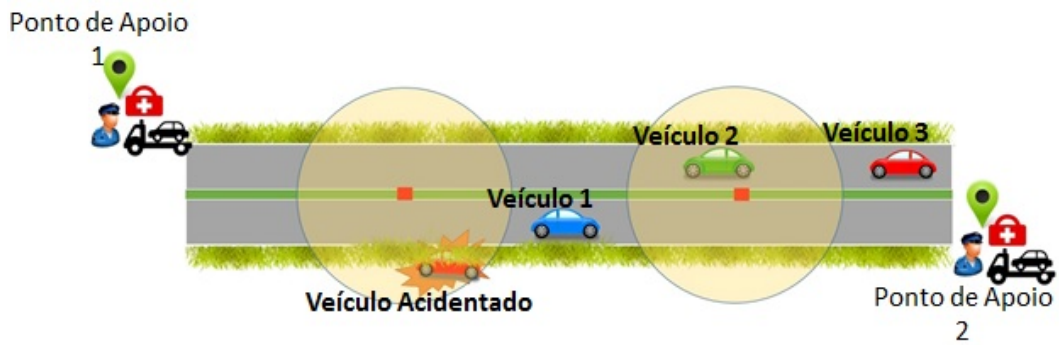


Figura 3.5: Ausência de veículos dentro do raio de cobertura da RSU no momento do acidente.

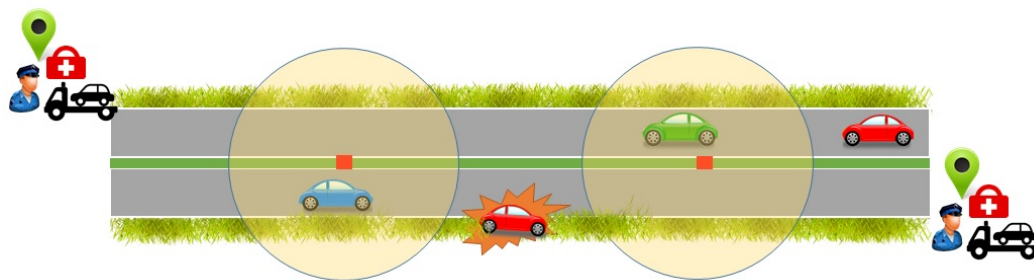


Figura 3.6: Veículo acidentado fora do alcance da RSU.

passará a disseminar de acordo com as condições já descritas anteriormente até que a mensagem chegue a um ponto de apoio.

A finalização do alerta de emergência dentro da via monitorada é feita pelos diferentes nós da rede podendo ocorrer nas seguintes situações:

- Etapa 1 - veículos saindo da via: a OBU que recebeu o alerta e teve autorização para fazer o encaminhamento para o ponto de apoio, ao passar pelo mesmo e receber uma confirmação de que está no limite da via monitorada. Neste momento, a OBU é autorizada a descartar o alerta;
- Situação 2 - Veículos trafegando na via: OBUs não selecionadas como nós encaminhadores também recebem o alerta. Neste caso, após o recebimento do alerta ele será descartado já que a OBU não possui nada programado para fazer com a informação recebida. Se a OBU está selecionada como nó encaminhador, após receber a confirmação de recebimento de alerta vindo dos dois encaminhadores que ela selecionou, o alerta também é descartado pela aplicação. Veículos que ainda estão encaminhando o alerta na via podem receber autorização de desativar a propagação dos veículos que estão se deslocando para fazer o atendimento do acidente. São eles guincho, viatura e ambulância;

- Situação 3 - RSUs: por não possuírem diretamente uma conexão entre si e/ou com os pontos de apoio, possuem maior dificuldade para encontrar meios de finalizar a propagação do alerta. Esta tarefa na RSU é feita assim que ela envia o alerta do acidente para os dois equipamentos selecionados dentro da sua área de alcance. Quando uma RSU recebe a confirmação de que dois equipamentos receberam o alerta, ela finaliza a propagação do mesmo. Ou seja, a RSU também obedece o princípio de enviar o alerta para os dois nós mais distantes.

Cada evento detectado possui um ID que permite seu reconhecimento. Dessa forma é possível que uma OBU ou RSU tenha notificações de acidentes distintos e saiba qual alerta pode ser finalizado de acordo com o atendimento da ocorrência gerada pelo mesmo, assim como qual alerta ainda deve ser mantido e disseminado.

3.2 Estrutura da mensagem

A disseminação de alertas no cenário utilizado neste trabalho se dá pelo envio de mensagens utilizando o protocolo IEEE 802.11p tanto pelas RSUs quanto pelas OBUs e pontos de apoio. A alteração no quadro do padrão IEEE 802.11p (vide Figura 3.7) feita no trabalho de ALMEIDA *et al.* [21] foi mantida mas seu propósito alterado. No caso deste trabalho, o quadro identificado como *Frame Type* passa a informar se o nó que recebeu o alerta possui autorização ou não para fazer o encaminhamento da mensagem.

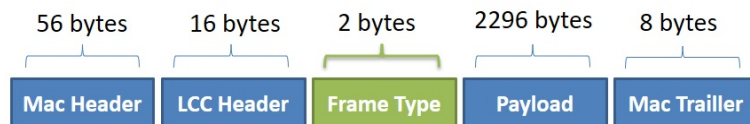


Figura 3.7: Estrutura alterada do quadro do padrão IEEE 802.11p.

Dentro da mensagem de alerta são enviadas informações referentes ao ID do evento, localização do veículo acidentado (informada pelo GPS do mesmo no momento da detecção do evento), o tipo da ocorrência (simples ou grave), além do campo que autoriza o nó que recebeu o alerta fazer o encaminhamento.

Os tipos de mensagem presentes na via são a detecção do nó mais distante via *broadcadst*, envio das informações sobre o evento detectado entre OBUs, confirmação de recebimentos e o envio das informações sobre o evento em *broadcadst* pela RSU.

Após a caracterização da proposta, no próximo capítulo será descrito o código da simulação realizada, assim como os resultados obtidos e a análise dos mesmos.

Capítulo 4

Resultados e Discussões

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas etapas de simulação, assim como suas variações, permitindo explorar outras possibilidades, uma vez que a comunicação entre OBUs e RSUs obteve respostas significativas. Entende-se por resposta significativa aquele cenário onde a disseminação de alertas se deu de forma eficiente alcançando as duas extremidades da via.

Mesmo podendo considerar válido que apenas um lado da via seja notificado, o propósito é permitir que ambas as extremidades saibam sobre o evento que originou o alerta. Sendo assim, torna-se possível uma resposta mais rápida para a realização do atendimento do mesmo.

As simulações foram realizadas em quatro computadores sendo um deles modelo Dell Inspiron com processador Intel Core i3 de 2,2 GHz e 4 GB de memória RAM e três do modelo Positivo com processador Intel G3430 de 3,30 GHz e 4 GB de memória RAM. Cada simulação teve dez repetições realizadas por cenário.

4.1 Código de simulação

A simulação da proposta descrita é feita com base no modelo de mobilidade IDM (*Intelligent Driver Model*) e no modelo de troca de faixa MOBIL (*Minimizing Overall Braking Induced by Lane change*) [19, 46], ambos adaptados para o NS-3 por ARBABI e WEIGLE [18].

4.1.1 Simulando uma RSU

Para fins de implementação, uma RSU é um nó sem mobilidade criado automaticamente em uma faixa central que divide as vias em direções distintas. Neste trabalho ao longo do texto, essa faixa é chamada de canteiro central. Os parâmetros configuráveis relativos as RSUs na simulação são quantidade, localização da primeira RSU no canteiro central e a distância entre as RSUs.

4.1.2 Modelo de simulação de uma OBU

O código utilizado para a simulação permite criar OBUs representando diferentes tipos de veículos. Neste trabalho serão considerados carros (veículos pequenos) e caminhões (veículos longos). Também é permitido a cada um dos tipos de veículo ter velocidade diferente.

Entende-se que em um ambiente real são baixas as chances de todos os veículos atuarem como OBUs na via, de forma que o código permite estipular uma porcentagem de OBUs entre o total de veículos. Porém como o cenário analisado já possui um baixo fluxo veicular, todos serão considerados como OBUs.

Um GPS de alta precisão simulado obtém a localização da OBU quatro vezes por segundo. Este modo de operação possui um alto consumo de bateria do equipamento de forma que, para a simulação feita nesta dissertação o GPS integrado a OBU efetua essa tarefa uma vez por segundo.

4.1.3 Modelo de simulação de um obstáculo na via

Um obstáculo pode ser considerado um veículo acidentado ou um bloqueio qualquer na via que não permita aos veículos seguirem normalmente sua trajetória. Para executar a simulação, deve-se escolher se haverá ou não um obstáculo na via. Uma vez que se escolha a inserção de obstáculos, deve-se escolher sua quantidade, sua localização e a distância entre eles (caso seja inserido mais de um). No caso deste trabalho, optou-se por possuir obstáculos fixos e na quantidade de um por direção sendo estes considerados veículos acidentados.

Os parâmetros da simulação também permitem decidir se o obstáculo será inserido desde o início da simulação ou se será adicionado após um tempo determinado. A inserção com tempo pré-determinado se assemelha mais com um acidente. Dessa forma, os obstáculos utilizados neste trabalho serão inseridos apenas após o início da simulação garantindo a existência veículos ao longo de toda a via. Neste caso, deve-se determinar o momento de inserção e retirada do obstáculo. Estes momentos significam respectivamente o instante em que o acidente ocorre e o instante em que o veículo é socorrido liberando a pista.

4.1.4 Alerta de obstáculos

Os veículos receberão automaticamente a notificação de um obstáculo na via e apenas serão responsáveis por encaminhá-la.

Não é propósito deste trabalho alertar os condutores sobre um evento na via e sim utilizar os veículos ao longo de todo o percurso, juntamente com as RSUs, como nós encaminhadores do alerta até um ponto de apoio capaz de enviar recursos para

atender a ocorrência.

4.1.5 Utilização do padrão IEEE 802.11p

O cenário simulado permite a conexão V2V e V2I utilizando o padrão IEEE 802.11p para a comunicação entre todos os dispositivos sendo que ocorre o compartilhamento de canal entre eles.

Como o tempo para efetuar troca de dados entre os dispositivos é pequeno, permite-se que OBU's e RSUs se comuniquem utilizando um BSS coringa para a realização trocas de dados imediatamente.

4.2 Cenários de simulação

Os cenários simulados são compostos por carros e caminhões em uma via reta com um número variável de vias. O número de RSUs também foi alterado e consequentemente a distância entre as mesmas. Tentar diminuir o número de RSUs tem como principal foco tornar a estrutura de monitoramento menos custosa do ponto de vista financeiro.

4.2.1 Parâmetros

Para efetuar a simulação, os parâmetros a seguir sofreram alterações devido aos cenários propostos. Outros parâmetros existentes foram mantidos constantes (Tabela 4.1).

- Distância inicial da RSU: o parâmetro que marca a distância da primeira RSU em relação ao início da via foi alterado devido às tentativas de aumentar a distância entre os equipamentos nos cenários analisados;
- Distância entre as RSUs: inserida a primeira RSU no canteiro central da via, configurou-se uma distância padrão entre esta e as próximas RSUs inseridas a seguir. A distância foi variada para análise dos cenários propostos iniciando com 500 metros até obter 800 metros de distância;
- Comprimento da via: a via simulada possui 10 quilômetros de extensão;
- Número de pistas: este valor também varia de acordo com o cenário e diz respeito ao número de pistas em cada direção da via simulada. Vale lembrar que o cenário pode ser bidirecional ou não. No caso das simulações realizadas todas possuíam vias bidirecionais;

- Canteiro central: a área que divide uma via bidirecional pode ter sua largura configurada. Em todas as simulações a largura padrão foi de cinco metros;
- Distância de inserção: para simular uma via com baixo fluxo veicular foi necessário estipular a distância entre os veículos. De acordo com ALMEIDA *et al.* [21] o máximo alcance de cobertura obtido para efetuar trocas de informações foi de 200 metros. Para não se aproximar muito deste limiar onde poderia ocorrer uma perda maior dos pacotes durante a comunicação, mas continuar dentro do cenário de baixo fluxo veicular, foi escolhida a distância de inserção de 170 metros. Inserir veículos com distância superior a 200 metros seria fragmentar a rede de tal forma que a comunicação ficaria comprometida;
- Obstáculos: os parâmetros para os obstáculos não sofreram alteração também em relação aqueles utilizados por ALMEIDA *et al.* [21], exceto a posição do obstáculo na via devido a variação da posição das RSUs. Considerando que o espaço entre duas RSUs caracteriza um trecho da via, mesmo que haja apenas um obstáculo em cada direção foi evitado o cenário no qual os obstáculos se encontram em um mesmo trecho mesmo em direções distintas.

Os parâmetros fixos na simulação são apresentados na Tabela 4.1. Com 2000 segundos de simulação é possível estabelecer comunicação em ambas as direções da via uma vez que os primeiros veículos inseridos já alcançaram a extremidade oposta da via. Como o cenário simulado é uma rodovia, optou-se por mantê-la com vias bidirecionais e uma área monitorada de 10 quilômetros de extensão. Cada faixa (inclusive o canteiro central onde estão instaladas as RSUs) possui 5 metros de largura. A composição da frota trafegando nas vias é composta por veículos grandes (caminhões) e pequenos (carros) combinados na proporção de 83% de carros e 17% de caminhões. Ou seja, a maior parte do tráfego no cenário simulado é de veículos de pequeno porte, como ocorre em uma quantidade significativa de rodovias em cenários reais. A densidade de OBU's na via foi estipulada em 100%, ou seja, todos os veículos na via estão se comunicando. Na realidade esta porcentagem tende a ser menor mas uma vez que o fluxo veicular é baixo, considerar apenas uma parte dos veículos em rede fragmentaria a propagação do alerta de forma a prejudicar o desempenho da rede. Em cada direção próximo ao meio da via será inserido um obstáculo responsável pelo disparo dos alertas. Tanto o modelo de propagação de rádio quando as camadas MAC e física foram definidos em acordo com os objetos desenvolvidos em código para o NS-3 com base no modelo YANS *Yet Another Network Simulator*. O protocolo utilizado é o mais apropriado para redes veiculares, o padrão IEEE 802.11p que opera na frequência de 5,9 GHz.

Sendo o foco deste trabalho fazer com que um alerta seja disseminado até as extremidades da via, os parâmetros alterados visam analisar o comportamento do

Tabela 4.1: Parâmetros dos experimentos.

| Parâmetros | Valor |
|-------------------------------|---|
| Tempo de simulação | 2000 segundos |
| Via bidirecional | Sim |
| Extensão da via | 10.000 metros |
| Largura da faixa | 5 metros |
| Percentual de carros | 83% |
| Percentual de caminhões | 17% |
| Densidade de OBUs | 100% |
| Obstáculos na via | Sim |
| Modelo de propagação de rádio | YANS (<i>Yet Another Network Simulator</i>) |
| Camada MAC | YANS (<i>Yet Another Network Simulator</i>) |
| Camada física | YANS (<i>Yet Another Network Simulator</i>) |
| Protocolo | IEEE 802.11p |
| Frequência de operação | 5,9 GHz |

envio de mensagens com poucos veículos e infraestrutura reduzida.

4.2.2 Cenários

Os cenários simulados foram definidos de acordo com as características de uma via de baixo fluxo de veículos. As primeiras simulações foram executadas com um tempo de 1000 segundos e com distância entre a inserção das OBUs na via variando a cada 5 metros, a partir de 190 metros até 200 metros (limite estipulado). Uma vez que o número de OBUs é muito baixo, todos os veículos são considerados OBU e o número total de RSUs é de 19. Os resultados médios referentes ao alcance das mensagens de alerta obtidos com base em 10 rodadas de cada cenário são informados na Tabela 4.2. Deve-se atentar para o fato de que as primeiras simulações foram realizadas para a testar os parâmetros e definir os ajustes necessários antes de iniciar as simulações a serem analisadas de fato.

Tabela 4.2: Alcance das mensagens referentes a primeira etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 1000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs.

| Distância de inserção (m) | Primeira RSU alcançada | Última RSU alcançada |
|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 200 | 1 | 11 |
| 195 | 1 | 12 |
| 190 | 2 | 19 |

A Tabela 4.2 mostra que de 19 RSUs a serem alcançadas na via, ao inserir veículos com a distância de 200 metros entre si, as RSUs de número 12 até 19 não receberam a notificação. Já inserindo veículos a cada 195 metros, as RSUs de número 13 até 19 não foram notificadas. Reduzindo a distância de inserção para 190 metros, a primeira RSU não consegue ser notificada, mas na outra extremidade da via a RSU número 19 recebeu o alerta.

Após os resultados obtidos, analisando o comportamento dos veículos foi possível concluir que o tempo de simulação não foi suficiente para permitir a distribuição dos mesmos em toda a via. Por isso, a mensagem não foi enviada como esperado.

Visando corrigir este problema, o tempo de simulação foi alterado para 2.000 segundos assim como o tempo de inserção e remoção dos obstáculos também foram alterados. Anteriormente os obstáculos eram inseridos em 500 e retirados em 560 segundos de simulação. Nestes novos cenários, a inserção se deu no segundo 1.500 e a retirada no segundo 1.800. Novamente mantendo em 100% a porcentagem de OBU's na via e o número total de RSUs em 19 (o que permite a existência de uma RSU a cada 500 metros na via), os resultados obtidos no envio das mensagens são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Alcance das mensagens referentes a segunda etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBU's.

| Distância de inserção (m) | Primeira RSU alcançada | Última RSU alcançada |
|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 200 | 1 | 19 |
| 170 | 1 | 19 |
| 130 | 1 | 19 |

Partindo do princípio de que ainda é possível efetuar a comunicação tendo até 200 metros de distância entre os nós, foram alterados os valores da distância de inserção começando com uma distância menor (130 metros) até o limite de 200 metros e os resultados da disseminação do alerta permaneceu válida. Nesse caso têm-se que tanto a primeira quanto a última RSU na via conseguem receber as mensagens de alerta da forma esperada. Para o ambiente simulado, isso significa que a mensagem chegou nos pontos de apoio onde será liberada a equipe necessária para atender o evento notificado.

4.3 Simulações

Com base nos valores apresentados na seção anterior, as simulações foram direcionadas para cenários com as características listadas a seguir.

- Tempo de simulação: 2.000 segundos;
- Distância entre as RSUs: 500 metros;
- Número de RSUs: 19;
- Tamanho da via: 10.000 metros;
- Número de vias: 2 a 5;
- Tempo de inserção de obstáculos: 1500 segundos;
- Local de inserção do obstáculo na direção leste: 4.450; metros;
- Local de inserção do obstáculo na direção oeste: 5.050 metros;
- Distância de inserção entre os veículos: 170 metros.

Entende-se que com o aumento no número de vias conseqüentemente há o aumento no número de veículos trafegando simultaneamente. Isso permite uma melhora no comportamento da disseminação de alertas uma vez que um maior número de nós está disponível para realizar a comunicação. Sendo assim, o maior desafio em cenários com baixo fluxo veicular são aqueles onde o número de vias também é baixo.

Esses cenários caracterizam a terceira etapa de simulações realizadas nesta dissertação. Os cenários analisados nas simulações obtiveram, em relação a disseminação de mensagens, os seguintes resultados listados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Alcance das mensagens referentes a terceira etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 500 metros. .

| Cenário | Número de vias | Primeira RSU alcançada | Última RSU alcançada |
|---------|----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 1 | 19 |
| 2 | 3 | 1 | 19 |
| 3 | 4 | 1 | 19 |
| 4 | 5 | 1 | 19 |

Sendo assim, independentemente do número de vias, o alerta conseguiu atingir as duas extremidades da área monitorada. Em relação ao número de veículos que passaram na via em cada cenário, o valor médio é listado na Tabela 4.5. Nesta tabela também são encontrados os valores médios referentes ao número de pacotes para a disseminação do alerta de obstáculo.

Tabela 4.5: Contagem de veículos e pacotes na terceira etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 500 metros.

| Cenário | Número total de veículos | Pacotes recebidos com sucesso | Pacotes recebidos com erro | Perda de pacotes (%) |
|---------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 1129 | 12966 | 4531 | 25,89 |
| 2 | 1736 | 24933 | 12201 | 32,86 |
| 3 | 2351 | 32046 | 24541 | 46,37 |
| 4 | 2971 | 45284 | 28415 | 38,55 |

O crescente aumento no valor da perda de pacotes entre os cenários simulados resulta do também crescente aumento no número de veículos juntamente com o número de vias simuladas, ou seja, quanto maior o número de veículos maior é o número de mensagens e consequentemente o número de erros que ocorrem na comunicação.

Os valores obtidos (Tabela 4.6) mostram que o tempo gasto para que o alerta atinja as extremidades da via permite que o ponto de apoio seja notificado antes que um condutor próximo ao acidente faça a notificação pessoalmente.

Tabela 4.6: Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 500 metros.

| Cenário | Tempo para alcance da primeira RSU Leste | Tempo para alcance da primeira RSU Oeste |
|---------|--|--|
| 1 | 3,16 segundos | 1,15 segundos |
| 2 | 10,18 segundos | 13,19 segundos |
| 3 | 0,16 segundo | 0,18 segundo |
| 4 | 0,19 segundo | 0,19 segundo |

O maior tempo obtido é aquele que o alerta necessita para atingir a RSU Oeste tendo o cenário 3 vias. Convertendo este tempo encontra-se o valor de 13,19 segundos. Por exemplo, um condutor a 90 quilômetros por hora necessita de aproximadamente 2,7 minutos para chegar no ponto de apoio a partir da localização do acidente. Neste caso, há uma economia de aproximadamente 90% do tempo para iniciar os procedimentos de socorro.

A confirmação do recebimento do alerta pelas RSUs que representam os pontos de apoio localizados nas extremidades das vias, serviram de base para a variação de um outro parâmetro na simulação. As próximas etapas também efetuam a variação

de distância entre as RSUs localizadas nas vias.

Neste cenário a variação feita diz respeito ao número de RSUs na via. Diminuir o número de RSUs permite diminuir custos e simplificar a estrutura necessária. Porém, aumentar a distância entre estes equipamentos pode reduzir o desempenho da disseminação de alertas.

Para analisar este novo cenário, a distância entre RSUs foi expandida de 500 para 600 metros. O número de RSUs foi reduzido de 19 para 15 dentro da área monitorada. Neste caso também foram analisadas de duas até cinco vias. Sendo assim, a notificação para as RSUs obteve os valores a seguir mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Alcance das mensagens referentes a quarta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 600 metros.

| Cenário | Número de vias | Primeira RSU alcançada | Última RSU alcançada |
|---------|----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 1 | 15 |
| 2 | 3 | 1 | 12 |
| 3 | 4 | 1 | 15 |
| 4 | 5 | 1 | 15 |

Os valores médios referentes ao número de veículos na via que foram obtidos durante o tempo total de simulação com os novos cenários são listados na Tabela 4.8. Esta mesma tabela também apresenta os valores médios referentes ao novo valor de distância entre as RSUs em relação aos pacotes recebidos com erro e aqueles recebidos com sucesso.

Tabela 4.8: Contagem de veículos e pacotes na quarta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 600 metros.

| Cenário | Número total de veículos | Pacotes recebidos com sucesso | Pacotes recebidos com erro | Perda de pacotes (%) |
|---------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 1711 | 10033 | 3406 | 25,34 |
| 2 | 1732 | 20313 | 8415 | 29,29 |
| 3 | 2024 | 28502 | 12685 | 30,80 |
| 4 | 2564 | 33594 | 21664 | 39,20 |

Nesta etapa da simulação a perda de pacotes aumentou de forma gradual sem grandes picos, ao contrário do que aconteceu no cenário número três da etapa anterior de simulações. Entre o cenário número um, com o menor número de vias, e o

cenário número quatro, possuindo cinco vias em cada direção, tem-se um aumento de 49,9% no número de veículos em relação ao total da via e a porcentagem de perda de pacotes aumentou em 54,7%.

Neste cenário os menores tempos obtidos entre a detecção do obstáculo e a notificação do mesmo foram inferiores a um segundo, porém um destes casos diz respeito ao cenário número dois onde a mensagem não atingiu um dos pontos de apoio. Salvo essa situação, o maior tempo para a mensagem atingir um ponto de apoio diz respeito ao cenário número um na comunicação com a RSU Leste. Mesmo assim, considerando o tempo de 2,7 minutos gastos em média para o veículo próximo ao acidente se aproximar do ponto de apoio, existe o ganho em torno de 92,34% no tempo de notificação do evento.

Tabela 4.9: Contagem de veículos e pacotes na quarta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 600 metros.

| Cenário | Tempo para alcance da primeira RSU Leste | Tempo para alcance da primeira RSU Oeste |
|---------|--|--|
| 1 | 12,41 segundos | 0,15 segundo |
| 2 | 0,003 segundo | 14,16 segundos |
| 3 | 0,14 segundo | 0,21 segundo |
| 4 | 0,12 segundo | 0,16 segundo |

Dando continuidade a meta de aumentar a distância entre as RSUs e diminuir a quantidade das mesmas na via, a distância que antes era de 600 metros foi expandida para 700 metros. Neste caso a mesma via que anteriormente comportava 15 RSUs agora utiliza 14 RSUs.

O alcance dos alertas e os cenários simulados são descritos na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Resultados da quinta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 700 metros.

| Cenário | Número de vias | Primeira RSU alcançada | Última RSU alcançada |
|---------|----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 1 | 14 |
| 2 | 3 | 1 | 14 |
| 3 | 4 | 1 | 14 |
| 4 | 5 | 1 | 14 |

Nestas condições os valores obtidos, tanto com sucesso quanto com erro, de pacotes ao longo da via, são apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Contagem de veículos e pacotes na quinta etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 700 metros.

| Cenário | Número total de veículos | Pacotes recebidos com sucesso | Pacotes recebidos com erro | Perda de pacotes (%) |
|---------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 1141 | 13919 | 5439 | 28,10 |
| 2 | 1732 | 30552 | 16215 | 34,67 |
| 3 | 2329 | 42256 | 24496 | 36,70 |
| 4 | 2978 | 62698 | 54074 | 46,31 |

A perda de pacotes teve um aumento gradual de acordo com o aumento do número de vias no cenário. Mesmo assim foi mantida mais da metade dos pacotes enviados chegando com sucesso aos destinatários. Apesar do número de veículos aumentar em 161% entre os cenários 1 e 4, a perda de pacotes aumentou em 64,8%.

Em relação ao tempo para disseminar os alertas ao longo da via, o cenário com três vias (cenário número 2) foi o que obteve o tempo mais longo. Mesmo assim, o valor obtido para efetuar a notificação foi de apenas 19,14 segundos (vide Tabela 4.12).

Tabela 4.12: Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 700 metros.

| Cenário | Tempo para alcance da primeira RSU Leste | Tempo para alcance da primeira RSU Oeste |
|---------|--|--|
| 1 | 6,15 segundos | 1,16 segundo |
| 2 | 19,14 segundos | 4,24 segundos |
| 3 | 0,16 segundo | 0,16 segundo |
| 4 | 1,12 segundos | 0,11 segundo |

Mesmo com uma distância 200 metros superior entre as RSUs em relação àquela analisada por ALMEIDA *et al.* [21], os resultados ainda são satisfatórios e permitem a comunicação como esperado. O número de pacotes recebidos com erro foi mais elevado em relação aos cenários analisados nas outras etapas de simulação. Porém, esse comportamento era esperado devido a este aumento na distância. Como a mensagem continuou a atingir as duas extremidades da via foi feita uma última etapa de simulações.

Por fim, é determinada a distância de 800 metros entre as RSUs. O número de

RSUs suportado na via monitorada com extensão de dez quilômetros é de 13 unidades. A disseminação de mensagens neste caso obteve o comportamento apresentado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Resultados da sétima etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 800 metros.

| Cenário | Número de vias | Primeira RSU alcançada | Última RSU alcançada |
|---------|----------------|------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 1 | 13 |
| 2 | 3 | 1 | 13 |
| 3 | 4 | 1 | 13 |
| 4 | 5 | 1 | 13 |

Novamente as RSUs nas extremidades foram notificadas mesmo no cenário com menor número de vias. A Tabela 4.14 lista os valores médios obtidos em relação ao recebimento de pacotes deste cenário assim como o número total de veículos que passaram pela via durante a simulação.

Tabela 4.14: Contagem de veículos e pacotes na sétima etapa de simulações. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 800 metros.

| Cenário | Número total de veículos | Pacotes recebidos com sucesso | Pacotes recebidos com erro | Perda de pacotes (%) |
|---------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 1131 | 20193 | 5422 | 21,17 |
| 2 | 1732 | 31778 | 13434 | 29,71 |
| 3 | 2349 | 51261 | 32845 | 39,05 |
| 4 | 2952 | 74549 | 54360 | 42,17 |

A média de perda de pacotes obtida em cada cenário simulado mostra que a maior porcentagem foi de 42,17%. Ou seja, em todos os casos, mais da metade dos pacotes foi recebida com sucesso. Em comparação aos valores obtidos nas etapas anteriores onde a distância entre as RSUs era menor, não houve grande discrepância nos valores obtidos.

Finalizando as simulações com este cenário, o aumento da distância entre RSUs ultrapassou 50% em relação aos valores originais das simulações de ALMEIDA *et al.* [21]. Mesmo assim, a comunicação ainda foi possível mesmo em cenários com baixo fluxo de veículos.

Nesta etapa de simulações o maior tempo obtido diz respeito a espera da RSU Leste para receber o alerta no cenário 1, como é possível perceber na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via. Parâmetros principais: Tempo de simulação 2000 segundos; via bidirecional com 100% de OBUs; distância de inserção entre veículos: 170 metros; distância entre RSUs: 800 metros.

| Cenário | Tempo para alcance da primeira RSU Leste | Tempo para alcance da primeira RSU Oeste |
|---------|--|--|
| 1 | 31,12 segundos | 1,10 segundo |
| 2 | 1,12 segundo | 1,13 segundo |
| 3 | 0,14 segundo | 0,11 segundo |
| 4 | 0,15 segundo | 0,13 segundo |

A mensagem demorou aproximadamente 31 segundos para chegar no destino. Entende-se, porém, que o tempo de propagação nos cenários com menor número de vias e, conseqüentemente menor número de veículos, tende a ser realmente mais elevado em comparação com os demais.

4.4 Análise dos resultados

Os valores obtidos em relação ao número de pacotes obteve coerência uma vez que seu crescimento foi proporcional ao número de veículos na via, como mostra a Figura 4.1. Sendo assim, quanto maior o número de veículos na via, maior o número de pacotes sendo disseminados e conseqüentemente maior o número de pacotes recebidos com sucesso.

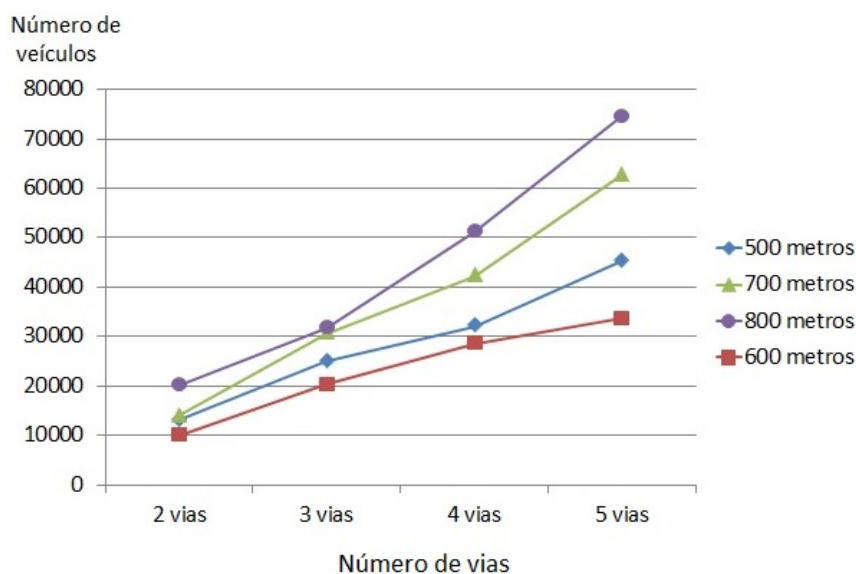


Figura 4.1: Número de pacotes recebidos com sucesso nos cenários simulados.

Em relação ao número de pacotes com algum tipo de erro, pode-se perceber pela Figura 4.2 que há um aumento significativo nos cenários de 800 e 700 metros de

distância entre as RSUs. Como há um menor suporte para a disseminação de mensagens, entende-se que a comunicação de fato pode-se tornar mais custosa gerando maiores falhas na comunicação.

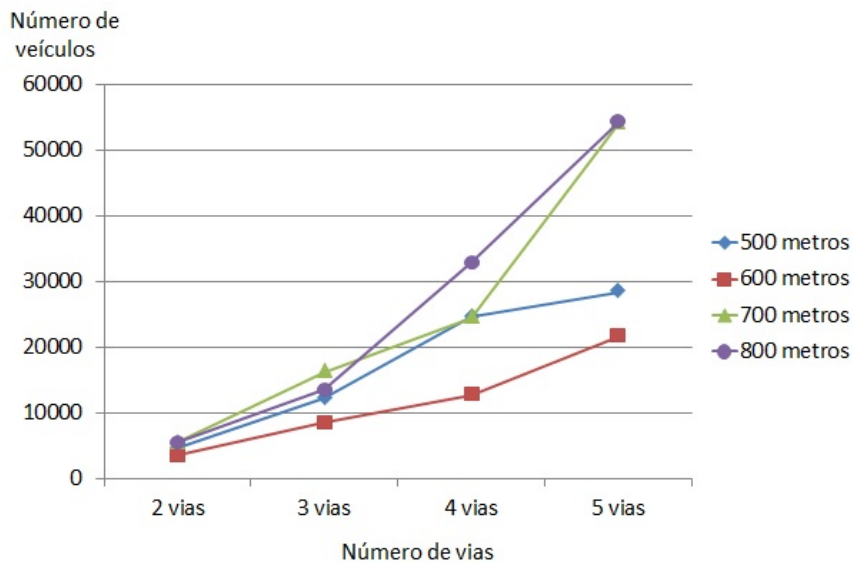


Figura 4.2: Número de pacotes recebidos com erro nos cenários simulados.

A Figura 4.3 ilustra a diferença entre a proporção de pacotes recebidos com sucesso em relação aos pacotes recebidos com erro nos diversos cenários simulados.

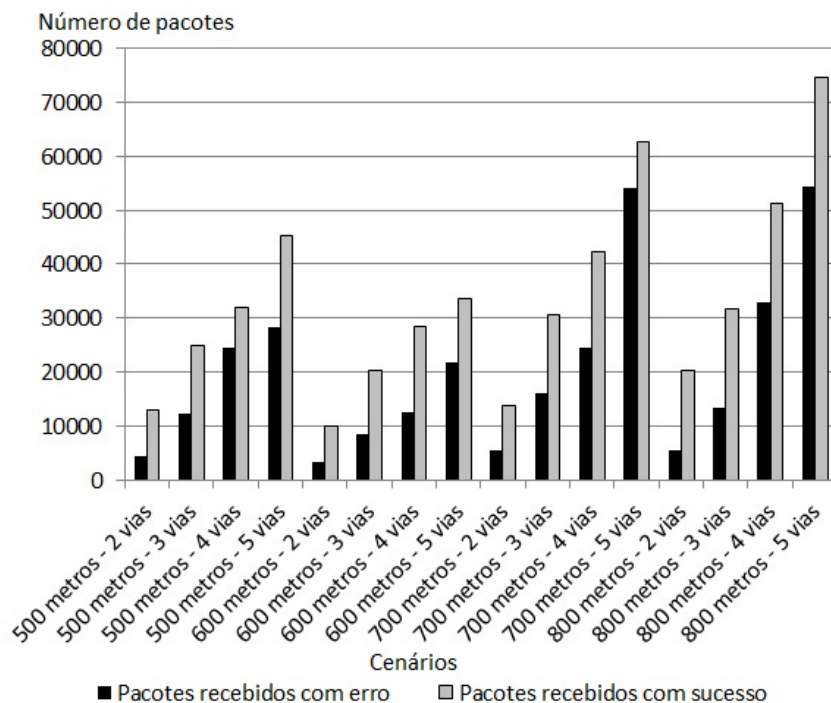


Figura 4.3: Diferença entre pacotes recebidos com erro e pacotes recebidos com sucesso.

Pode-se perceber que mesmo que a quantidade de pacotes com erros seja alta,

em momento algum se equiparou a taxa de pacotes com sucesso e a comunicação foi mantida. Os valores apresentados anteriormente nas Tabelas 4.5, 4.8, 4.11 e 4.14 mostram que a taxa de erros não chegou a interromper a chegada da mensagem até as extremidades das vias.

Os valores obtidos na simulação convertidos para segundos são apresentados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Tempo médio para disseminação de alertas de obstáculos na via.

| Cenário | Tempo para alcance da primeira RSU Leste | Tempo para alcance da primeira RSU Oeste |
|-------------------|--|--|
| 500 metros 2 vias | 3,16 segundos | 1,15 segundos |
| 500 metros 3 vias | 10,18 segundos | 13,19 segundos |
| 500 metros 4 vias | 0,16 segundo | 0,18 segundo |
| 500 metros 5 vias | 0,19 segundo | 0,19 segundo |
| 600 metros 2 vias | 12,41 segundos | 0,16 segundo |
| 600 metros 3 vias | 0,003 segundo | 14,16 segundos |
| 600 metros 4 vias | 0,14 segundo | 0,21 segundo |
| 600 metros 5 vias | 0,12 segundo | 0,16 segundo |
| 700 metros 2 vias | 6,15 segundos | 1,16 segundos |
| 700 metros 3 vias | 19,14 segundos | 4,24 segundos |
| 700 metros 4 vias | 0,16 segundo | 0,16 segundo |
| 700 metros 5 vias | 1,12 segundos | 0,11 segundo |
| 800 metros 2 vias | 31,12 segundos | 1,10 segundos |
| 800 metros 3 vias | 1,12 segundos | 1,13 segundos |
| 800 metros 4 vias | 0,14 segundo | 0,11 segundo |
| 800 metros 5 vias | 0,15 segundo | 0,13 segundo |

Supondo um veículo trafegando a 80 quilômetros por hora na rodovia, ele necessita de 7,5 minutos para percorrer toda a extensão da mesma. Acontecendo um acidente próximo à metade da via (região aproximada onde o obstáculo foi inserido na simulação), o veículo teria então aproximadamente 3,75 minutos até chegar ao ponto de apoio. Logo, para ser eficiente, a propagação deve ocorrer em um tempo inferior. Com os valores médios obtidos nas simulações pode-se perceber que todas as RSUs receberão o alerta dentro deste prazo. Com exceção do cenário onde a distância entre as RSUs é de 600 metros e o número de vias é três. Neste caso, durante as simulações, a RSU da extremidade Leste não recebeu o alerta.

A propagação de mensagens de alerta ao longo da via atingindo suas extremidades onde será possível organizar o atendimento foi mantida na grande maioria dos cenários simulados. Mesmo com o baixo fluxo de veículos, o tempo para que o alerta seja propagado foi igualmente satisfatório permitindo que a propagação automática seja mais ágil do que aquela em que o condutor notifica pessoalmente o ocorrido. A redução no número de RSUs na via, aumentando o espaço entre elas em 60% em relação ao valor inicial fixado nos trabalhos de JUNIOR [20], ALMEIDA *et al.* [21] também se mostrou viável.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

Efetuar a notificação de acidentes em rodovias utilizando recursos oferecidos por redes veiculares auxilia a economizar tempo e salvar vidas. A proposta analisada neste trabalho é voltada para ambientes com baixa densidade veicular e as simulações trabalharam em cenários com infraestrutura de apoio reduzida.

A utilização de recursos já disponíveis como sensores internos dos veículos, aparelhos celulares e a própria rede de telefonia celular permite economia na hora de organizar a infraestrutura necessária para a proposta. Além disso, também permite atingir uma maior adesão dos usuários uma vez que eles já possuem as ferramentas necessárias em mãos para utilizar a solução desenvolvida.

Tendo uma via com RSUs independentes (sem conexão entre elas) implantadas em sua extensão, estas auxiliam as OBU's a transportar e propagar a mensagem de emergência até suas extremidades onde os pontos de apoio terão condições de enviar recursos ao local do acidente.

Os resultados obtidos através de simulação mostram que o envio de alertas ao longo da via atinge suas extremidades como esperado, com exceção de apenas um cenário. Neste caso uma das extremidades não foi notificada. Porém, entende-se que se ao menos uma das extremidades está ciente do evento ocorrido na via, a notificação pode ser feita via telefone, por exemplo, entre os pontos de apoio para efetuar o atendimento normalmente. Neste trabalho, cada extremidade possui um ponto de apoio que deve receber a notificação. O ambiente de baixo fluxo veicular, onde a distância entre os veículos na via é de 170 metros, é diferente dos cenários para os quais a simulação foi desenvolvida inicialmente nos trabalhos utilizados como base. JUNIOR [20], ALMEIDA *et al.* [21] desenvolveram seus trabalhos voltados para cenários com alto fluxo veicular sendo que o primeiro chegou a efetuar um teste real em área urbana e o segundo fez simulações em um cenário com parâmetros baseados na Marginal Tietê. Neste trabalho o cenário simulado utiliza baixo fluxo veicular, está direcionado para rodovias e teve suas características de fluxo baseadas em dados reais das rodovias do Brasil.

O alto e esperado índice de pacotes com erro não interrompeu o fluxo de mensagens, permitindo que o alerta chegue ao destino mais rapidamente quando comparado ao tempo necessário para que um condutor faça a notificação pessoalmente ao se aproximar do ponto de apoio após visualizar o acidente na via. O maior tempo médio obtido durante das simulações foi de aproximadamente 31 segundos. Um veículo a 80 km/h demoraria aproximadamente 4 minutos para chegar ao ponto de apoio enquanto um veículo a 90 km/h demoraria por volta de 3,5 minutos. Desta forma, alcançou-se uma redução de 85% no tempo necessário para efetuar a notificação.

JUNIOR [20], ALMEIDA *et al.* [21] fixaram em 500 metros a distância entre as RSUs utilizadas nos seus respectivos trabalhos. Nesta dissertação uma parte das simulações foi feita respeitando essa distância. A partir dos resultados obtidos, houve a variação aumentando este valor para 600, 700 e 800 metros. Essa variação permitiu analisar o comportamento da propagação de mensagens atribuindo a maior responsabilidade de propagação para as OBU's deixando as RSUs como estrutura de apoio e, sendo em menor quantidade, uma estrutura menos onerosa para ser implantada. A variação no número de vias e na distância entre RSUs não gerou nenhuma interrupção no fluxo de mensagens até o seu destino, com exceção de um cenário, de forma que pode-se afirmar que o comportamento obtido foi altamente satisfatório em relação a este aspecto. Devido ao baixo fluxo veicular e ao número cada vez menor de RSUs nos cenários simulados, o aumento de falhas de comunicação é uma consequência natural mas manter o recebimento dos alertas no destino em tempo hábil é crucial.

Para trabalhos futuros pretende-se analisar o comportamento em casos de acidentes mais extremos quando o veículo de fato é lançado para fora da pista e se localiza no limite da distância possível de comunicação em relação a área de alcance dos equipamentos. Sabe-se que nestes casos o risco de não ocorrer a notificação do acidente é alto e o condutor assim como demais ocupantes do veículo estarão propensos a um socorro tardio. Locais com baixa visibilidade e muita vegetação poderão ser incluídos nos cenários de forma a tornar a proposta mais abrangente.

Também é válido aumentar a distância entre as RSUs visando simplificar ainda mais a estrutura e descobrir o ponto limite de distância funcional entre elas uma vez que neste trabalho todas as distâncias propostas continuaram a manter a comunicação. Sendo a proposta mais viável economicamente, mais chances ela possuirá de ser implantada. Juntamente com esta possibilidade pode ser feita a análise das taxas de erros e perdas de pacotes assim como buscar novos métodos para reduzir os números obtidos.

Pretende-se ainda analisar os resultados obtidos através de experimentos práticos em relação ao comportamento das RSUs e OBU's em uma via real. Através deste

experimento será possível observar as variações de comportamento de acordo com os horários e diferentes fluxos assim como as diferentes proporções e tipos de veículos que podem trafegar na via e que não foram contemplados na simulação. A experimentação prática em cenários diversos permitirá compreender melhor o comportamento e ver pontos a serem melhorados na proposta assim como encontrar novos aspectos a serem explorados.

Referências Bibliográficas

- [1] ALVES, R. S. A., CAMPBELL, I. V., COUTO, R., et al. “Redes Veiculares:Princípios, Aplicações e Desafios”. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/ACC09.pdf>, Acesso em novembro de 2016.
- [2] OLIVEIRA, R. R. *Protocolo adaptativo de disseminação de dados para aplicações de segurança no trânsito em rodovias*. Tese de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2013.
- [3] COSTA, L. A. G. *Migração de agente sensetivo a posição geográfica em redes veiculares*. Relatório técnico, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2015.
- [4] MÜHLBAUER, R. *Estudo de simuladores para redes ad hoc veiculares (VANETS)*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, 2014.
- [5] LEE, D., BAI, S., KIM, T., et al. “Enhanced Selective Forwarding Scheme for Alert Message Propagation in VANETs”, *International Journal of Automotive Technology*, v. 12, pp. 251–264, 2011.
- [6] PATEL, B., SHAH, K. “A Survey on Vehicular Ad hoc Networks”, *IOSR Journal of Computer Engineering*, v. 15, n. 4, pp. 34–42, 2013.
- [7] CUNHA, F. D., BOUKERCHE, A., VILLAS, L., et al. “Data Communication in VANETs: A Survey, Challenges and Applications.” Disponível em <https://hal.inria.fr/hal-00981126/document>, Acesso em novembro de 2016.
- [8] OICA. “Motorization Rate 2014 – Worldwide”. Disponível em <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>, Acesso em novembro de 2016.
- [9] DENATRAN. “Frota de Veículos”. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos>, Acesso em novembro de 2016.

- [10] ASIRT. “Annual Global Road Crash Statistics”. Disponível em <https://asirt.org/initiatives/informing-road-users/road-safety-facts/road-crash-statistics>, Acesso em novembro de 2016.
- [11] POR VIAS SEGURAS. “Estatísticas do seguro obrigatório DPVAT”. Disponível em http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais/estatisticas_do_seguro_dpvat, Acesso em novembro de 2016.
- [12] DO TRÂNSITO, P. “Impacto anual dos acidentes de trânsito é R\$ 2,3 bilhões no Brasil”. Disponível em <http://portaldotransito.com.br/noticias/impacto-anual-dos-acidentes-de-transito-e-r-23-bilhoes-no-brasil/>, Acesso em novembro de 2016, .
- [13] DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, D. N. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/>, Acesso em maio de 2016.
- [14] TRÂNSITO BR. “Acidentes - Números”. Disponível em <http://www.transitobr.com.br/>, Acesso em novembro de 2016.
- [15] DO TRÂNSITO, P. “Motoristas perdem 8 dias por ano em congestionamentos”. Disponível em <http://portaldotransito.com.br/noticias/motoristas-perdem-8-dias-por-ano-em-congestionamentos/>, Acesso em novembro de 2016, .
- [16] RIO, V. “Dez soluções para reduzir o trânsito”. Disponível em <http://vejario.abril.com.br/materia/cidade/solucoes-transito-rio/>, Acesso em novembro de 2016.
- [17] FOGUE, M., GARRIDO, P., MARTINEZ, F. J., et al. “Assistance Through Communication Technologies and Vehicles”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, v. 15, n. 3, pp. 90–100, Setembro 2012. ISSN: 1556-6072.
- [18] ARBABI, H., WEIGLE, M. “Highway Mobility and Vehicular Ad-Hoc Networks in NS-3.” *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, pp. 2991–3003, 2010.
- [19] TREIBER, M., HENNECKE, A., HELBING, D. “Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations”, *IEEE Communications Magazine*, v. 62, pp. 1805–1824, 2000.

- [20] JUNIOR, J. G. R. *Sistema oportunístico e colaborativo para monitoramento e trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas*. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- [21] ALMEIDA, T. T., JÚNIOR, J. G. R., GULL, C. J., et al. “DOCS4V: Design and evaluation of a distributed and offline traffic monitoring system based on collaborative data”, *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 737–742, 2016.
- [22] ENDLER, M. “Roteamento em Redes Móveis Ad Hoc (Mobile Ad hoc NETWORKS - MANET)”. Disponível em <http://www-di.inf.puc-rio.br/~endler/courses/Mobile/transp/MANET.pdf>, Acesso em novembro de 2016.
- [23] SILVA, R. U., ALBUQUERQUE, H. M., SAVOINE, M. M. “Proposta de roteamento para redes veiculares no norte do Tocantins”, *Revista Científica do ITPAC*, v. 7, n. 1, pp. 60, 2014.
- [24] MATOS, L. B. C. “Análise de Desempenho de Algoritmos Criptográficos Assimétricos em uma Rede Veicular (VANET)”. Disponível em http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFS_f739f0e84d6bf1afe2e77d4c418d7a73, Acesso em novembro de 2016.
- [25] SERRADO, R. P. *Proposta de Roteamento para Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- [26] VIEIRA, A. S. S. “VDTN-TD: Protocolo de Roteamento VANET/DTN baseado em tendência de entrega”. Disponível em http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFS_f739f0e84d6bf1afe2e77d4c418d7a73, Acesso em novembro de 2016.
- [27] AL-SULTAN, S., AL-DOORI, M. M., AL-BAYATTI, A. H., et al. “A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network”, *Journal of Network and Computer Applications*, v. 37, pp. 380–392, 2014.
- [28] MEJRI, M. N., BEN-OTHTMAN, J., HAMDI, M. “Survey on VANET security challenges and possible cryptographic solutions”, *Vehicular Communications*, v. 1, pp. 53–66, 2014.
- [29] LABERTEAUX, K. P., HARTENSTEIN, H. “A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks”, *IEEE Communications Magazine*, v. 46, n. 6, pp. 164–171, 2008.

- [30] MELLO, H. B. *Propostas de Roteamento para Redes Veiculares (VANETs) em Ambientes Urbanos*. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- [31] MENEGUETTE, R. I., VILLAS, L. A. “An Autonomic Algorithm for Data Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks”, *IEEE Latin America Transactions*, v. 12, pp. 430–435, 2014.
- [32] MATEUS, B. G. *Análise sobre o impacto da densidade veicular, da carga da rede e da mobilidade no desempenho de protocolos de roteamento para Redes Veiculares*. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2010.
- [33] WEIL, T. “VDTN-TD: Protocolo de Roteamento VANET/DTN baseado em tendência de entrega”. Disponível em http://bdttd.ibict.br/vufind/Record/UFS_f739f0e84d6bf1afe2e77d4c418d7a73, Acesso em novembro de 2016.
- [34] GRÄFLING, S., MAHONEN, P., RIIHIJARVI, J. “Performance Evaluation of IEEE 1609 WAVE and IEEE 802.11 p for Vehicular Communications”, *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, pp. 344–348, 2010.
- [35] CHOI, B. “Paper Review: Proactive Traffic Merging Strategies for Sensor-Enabled Cars”. Disponível em http://www.ee.columbia.edu/~nick/EE6778/Papers_R1/Choi.pdf, Acesso em novembro de 2016.
- [36] GREEN, M. “How Long Does It Take to Stop? Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times”, *Transportation Human Factors*, v. 2(3), pp. 195–216, 2000.
- [37] NAUMOV, V., BAUMANN, R., GROSS, T. “An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces”, *7th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pp. 108–119, 2006.
- [38] ZEADALLY, S., HUNT, R., CHEN, Y., et al. “Vehicular ad hoc networks (VANETS): Status, results, and challenges”, *Telecommunication Systems*, v. 50, n. 4, pp. 1–25, 2012.
- [39] HASSAN, A. *VANET Simulation*. In: Report, Halmstad University, Halmstad, Suécia, 2009.
- [40] NSNAM. “What is NS-3”. Disponível em <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3/>, Acesso em dezembro de 2016.

- [41] PAN, J. “A Survey of Network Simulation Tools: Current Status and Future Developments”. Disponível em <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-08/ftp/simtools/index.html#6>, Acesso em janeiro de 2017.
- [42] FAIZ, A. B., IMTEAJ, A., CHOWDHURY, M. “Smart vehicle accident detection and alarming system using a smartphone”, *Computer and Information Engineering (ICCIE), 2015 1st International Conference on*, 2015.
- [43] FERNANDES, B., GOMES, V., FERREIRA, J., et al. “Mobile Application for Automatic Accident Detection and Multimodal Alert”, *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2015 IEEE 81st*, 2015.
- [44] JIANWEI, N., CHANG, L., JIAN, M. “Opportunistic Auto-Adaptive Dissemination in Vehicular Ad-hoc Networks”, *IEEE Networks and Communications*, p. 40–45, 2009.
- [45] NIRBHAVANE, M., PRABHA, S. “Accident Monitoring System using Wireless Application”, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering e Technology*, p. 1532–1535, 2014.
- [46] TREIBER, M., KESTING, A., HELBING, D. “MOBIL: General Lane-Changing Model for Car-Following Models”. Disponível em http://www.mtreiber.de/publications/MOBIL_TRB.pdf, Acesso em dezembro de 2016, 2009.