



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

UM MECANISMO DE DETECÇÃO E CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO  
USANDO REDES AD HOC VEICULARES SEM INFRAESTRUTURA

Bruno Cunha Farias

**Orientador**

Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira Campos

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
OUTUBRO DE 2017

UM MECANISMO DE DETECÇÃO E CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO  
USANDO REDES AD HOC VEICULARES SEM INFRAESTRUTURA

Bruno Cunha Farias

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE MESTRE PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFOR-  
MÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNI-  
RIO). APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA ABAIXO ASSINADA.

Aprovada por:

---

Carlos Alberto Vieira Campos, D.Sc. - UNIRIO

---

Sidney Cunha de Lucena, D.Sc. - UNIRIO

---

Aline Carneiro Viana, Dr. - INRIA

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2017

FARIAS, Bruno Cunha.

Um mecanismo de detecção e controle de congestionamento usando redes  
ad hoc veiculares sem infraestrutura / Bruno Cunha Farias – Rio de Janeiro, 2017.

Orientador: Carlos Alberto Vieira Campos  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro,  
Programa de Pós-Graduação em Informática, 2017.

1. Controle de congestionamento veicular 2. VANET 3. V2V 4. INATIS 5. DESVIA  
I. Campos, Carlos Alberto Vieira, orient. II. Título.

*À minha esposa Roberta, por todo apoio e paciência, minhas filhas Valentina e Eduarda, pelo amor e inspiração.*

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, por ter me permitido participar do curso de mestrado e ter me dado força para finalizar este trabalho apesar de todas as dificuldades que surgiram no caminho.

À minha querida esposa Roberta, por ter sido compreensiva nos períodos de ausência e de dedicação a esta etapa da minha vida. Por sempre ter me incentivado e acreditado que eu conseguiria obter essa conquista em minha vida. Sem o seu apoio nada disso teria sido possível.

À minha mãe, D. Tereza, por ter me ensinado que o estudo é sempre o mais importante dos investimentos que alguém pode fazer.

Ao meu caro orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira Campos, por não ter faltado em compreensão diante todas as circunstâncias que se impuseram no decorrer do curso.

Assim como por ter acreditado no meu potencial e por todo o conhecimento generosamente compartilhado comigo e meus colegas de mestrado durante toda a jornada.

Ao meu colega Cláudio Diego pela ajuda principalmente nos momentos finais desta empreitada.

Aos professores do PPGI-Unirio Sidney Lucena, Kate Revoredo e Adriana Alvim que me trouxeram novos conhecimentos e me fizeram respeitar ainda mais a instituição Unirio.

Aos meus colegas de trabalho Nadilson Ferreira e Marcos Branco, por terem ajudado a resgatar em mim o desejo de ingressar num curso de pós-graduação stricto-sensu depois de tanto tempo de mercado de trabalho.

A todos os profissionais da Unirio, que tornaram tão especial o meu curso de mestrado.

E a todos aqueles que me incentivaram e contribuíram para que eu pudesse completar  
essa etapa de minha vida.

Farias, Bruno Cunha. **DESVIA: Um mecanismo de detecção e controle de congestionamento usando redes ad hoc veiculares sem infraestrutura.** . UNIRIO, 2017. 56 páginas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática Aplicada, UNIRIO.

## RESUMO

À medida que centros urbanos se tornam cada vez mais densos e a frota de automóveis nesses centros cresce continuamente, a mobilidade urbana é um assunto que desperta interesse crescente no planejamento de cidades. No contexto de uma cidade inteligente, automóveis com capacidades computacionais e de comunicação podem desempenhar um papel vital em promover mobilidade inteligente e, portanto, contribuindo para uma melhor qualidade de vida aos moradores de uma área urbana. A grande concentração de dispositivos com capacidades de computação em um ambiente urbano resulta em alta concorrência por recursos de telecomunicações para interação com redes infraestruturadas, como redes celulares e a Internet.

Nesta dissertação de mestrado é proposto um mecanismo de detecção e controle de congestionamento que promove melhor mobilidade em um centro urbano utilizando exclusivamente uma abordagem veículo para veículo. Este tipo de abordagem prescinde de uma infraestrutura de rede estabelecida, desonerando, portanto, as redes infraestruturadas através do uso do paradigma de redes ad hoc veiculares. O mecanismo de disseminação e agregação de mensagens utilizado é baseado no mecanismo INATIS. Entretanto, são propostas melhorias ao mecanismo, otimizando-o para o cenário de controle e detecções de congestionamento. Para avaliação de desempenho foram utilizados cenários com congestionamentos gerados artificialmente em ambientes reduzidos de simulação em ambiente urbano para validação de diminuição de tempo de viagem dos veículos que utilizam a solução. Foram analisados tempos de viagem, utilização do meio físico e distribuição de informação nos veículos da simulação. Os resultados obtidos indicaram que o mecanismo proposto foi capaz de reduzir o congestionamento, diminuindo o tempo médio de viagem em 30%.

**Palavras-chave:** VANET; V2V; ITS; Sistemas de informações de tráfego; detecção de congestionamento; controle de congestionamento; cenários urbanos.

## ABSTRACT

As urban centers grow even denser and the number of cars in these centers increases continuously, urban mobility is an issue that arouses growing interest in city planning. In the context of a Smart City, vehicles having computing and communication capabilities play a vital role on promoting intelligent mobility and thus bringing quality to the urban citizens daily life. The high concentration of devices with computing capabilities in a urban environment results in a highly competitive environment for telecommunications resources used for accessing networks with infrastructure such as cellular networks and the Internet.

In this dissertation it is presented a mechanism of vehicle congestion detection and control aiming to promote great mobility in urban centers using exclusively a V2V (Vehicle-To-Vehicle). This type of approach dispenses the existence of a centralized network infrastructure, By using the vehicular ad hoc network paradigm it removes burden from centralized. The message dissemination and aggregation mechanisms used is based on INATIS mechanism. However, improvements are proposed to the mechanism, optimizing it for the scenario of vehicle congestion control and detection. For the mechanism performance evaluation, simulation scenarios with artificially generated congestion in urban environment were used to validate a decrease in travel time of vehicles adopting the solution. The analysis considered travel times, use of the physical environment and information distribution in the vehicles of the simulation. The results indicated that the mechanism was able to reduce congestion, reducing the average travel time by 30%. In addition, it was observed that the congestion levels were observed by 100% of the vehicles of the simulation.

**Keywords:** VANET; V2V; ITS; traffic information systems; congestion detection; congestion control.

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	3
1.3	Contribuições . . . . .	3
1.4	Estrutura do trabalho . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Cidades inteligentes e mobilidade</b>	<b>5</b>
2.1	Cidades Inteligentes . . . . .	5
2.2	Mobilidade Inteligente . . . . .	7
2.3	Redes Veiculares . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Trabalhos relacionados</b>	<b>9</b>
3.1	Veículo para Veículo - V2V . . . . .	9
3.2	Disseminação . . . . .	10
3.3	Classificação de condição de tráfego . . . . .	11
3.4	Detecção de Congestionamento de Veículos . . . . .	13
3.5	Controle de Congestionamento de Veículos . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Proposta</b>	<b>18</b>

4.1	Visão Geral . . . . .	18
4.2	Detecção de Congestionamento . . . . .	20
4.2.1	Classificação de condição de tráfego . . . . .	21
4.3	Disseminação . . . . .	23
4.4	Controle de Congestionamento . . . . .	24
4.4.1	Recálculo de Rotas . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Avaliação da proposta</b>	<b>28</b>
5.1	Visão geral . . . . .	28
5.2	Ambiente . . . . .	29
5.3	Implementação dos mecanismos utilizados na simulação . . . . .	30
5.3.1	Rota fixa e sem nenhum controle de congestionamento . . . . .	30
5.3.2	Reroteamento do simulador SUMO . . . . .	31
5.3.3	DESVIA . . . . .	31
5.3.4	DESVIA Modificado . . . . .	31
5.4	Cenário de avaliação . . . . .	32
5.4.1	Parâmetros de Simulação . . . . .	32
5.4.2	Fluxos . . . . .	33
5.5	Métricas de desempenho . . . . .	34
5.6	Resultados . . . . .	36
5.6.1	Análise de detecções de congestionamento . . . . .	36
5.6.2	Análise de tempos de viagem . . . . .	46
5.6.3	Análise de impacto econômico e ambiental . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Conclusão e trabalhos futuros</b>	<b>51</b>

## Lista de Figuras

2.1	Cidades inteligentes [1] . . . . .	5
2.2	Espectro WAVE [2] . . . . .	8
2.3	Visão geral de conectividade em IoV [3] . . . . .	8
3.1	Visualização gráfica classificação de condição de tráfego Google Maps . . . . .	12
3.2	Ilustração de um controle baseado em pelotões, onde o veículo A seria bloqueado pelo semáforo para que os pelotões das faixas 1 e 5 pudessem seguir sem interrupção [4]. . . . .	15
4.1	Segmentação baseada em interseções [2]. . . . .	19
5.1	Topologia do cenário realístico utilizado na avaliação. . . . .	30
5.2	Veículos Lentos . . . . .	34
5.3	Percepção de Tráfego Intenso . . . . .	38
5.4	Percepção de Tráfego Lento . . . . .	38
5.5	Percepção de Tráfego Congestionado . . . . .	39
5.6	Segmentos Percorridos . . . . .	40
5.7	Proporção da Percepção de Tráfego Intenso / Segmentos Percorridos . . . . .	40
5.8	Proporção da Percepção de Tráfego Lento / Segmentos Percorridos . . . . .	41
5.9	Proporção da Percepção de Tráfego Congestionado / Segmentos Percorridos . . . . .	41

5.10	Veículos transitando em tráfego intenso . . . . .	42
5.11	Veículos transitando em tráfego lento . . . . .	42
5.12	Veículos transitando em tráfego congestionado . . . . .	43
5.13	Segmentos classificados com tráfego intenso . . . . .	44
5.14	Segmentos classificados com tráfego lento . . . . .	45
5.15	Segmentos classificados com tráfego congestionado . . . . .	46
5.16	Tempos médios de viagens . . . . .	47
5.17	Distância Média Percorrida . . . . .	48
5.18	Consumo médio de combustível . . . . .	49
5.19	Média de Emissão de poluentes . . . . .	50

## Lista de Tabelas

5.1	Parâmetros de tráfego . . . . .	32
5.2	Parâmetros de simulação do meio físico . . . . .	33
5.3	Parâmetros de veículo . . . . .	33
5.4	Desvio Padrão para Percepção de Tráfego Intenso . . . . .	38
5.5	Desvio Padrão para Percepção de Tráfego Lento . . . . .	39
5.6	Desvio Padrão para Percepção de Tráfego congestionado . . . . .	39
5.7	Desvio Padrão para Segmentos Percorridos . . . . .	40
5.8	Desvio Padrão para Veículos Passando por Tráfego Lento . . . . .	43
5.9	Desvio Padrão para Veículos Passando por Tráfego Congestionado . . . . .	43
5.10	Desvio Padrão para Segmentos Classificados como Intensos . . . . .	45
5.11	Desvio Padrão para Segmentos Classificados como Lentos . . . . .	45
5.12	Desvio Padrão para Segmentos Classificados como Congestionados . . . . .	46
5.13	Desvio Padrão para Tempos de Viagem . . . . .	47
5.14	Desvio Padrão para Distância Percorrida . . . . .	49
5.15	Desvio Padrão para Consumo de Combustível . . . . .	50
5.16	Desvio Padrão para Emissão de Poluentes . . . . .	50

## **Lista de Nomenclaturas**

DTN	Delay/Disruption-Tolerant Networks
MANET	Mobile or Multihop Ad-hoc Networking
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol
VANET	Vehicular Ad-hoc Networks
RSU	Road Side Unit
OBU	On-board Unit
IoV	Internet Of Vehicles

## 1. Introdução

Centros urbanos cada vez mais densos expõem à comunidade científica novos desafios sobre como promover melhorias no funcionamento geral de uma cidade. Nesse contexto, encontra-se terreno fértil para o desenvolvimento de soluções de tecnologia que viabilizem melhor qualidade de serviços urbanos a custos cada vez menores e que contribuam para o bem-estar geral da população.

O conceito de cidades inteligentes (*smart cities*), apesar de não possuir definição precisa, abrange a ideia supracitada de maneira geral em diferentes setores de serviços prestados a uma cidade, criando as ideias de mobilidade inteligente (*smart mobility*), gerenciamento de recursos inteligentes (*smart utilities*), governo inteligente (*smart government*), edifícios inteligentes (*smart buildings*) e meio-ambiente inteligente (*smart environment*).

Considerando soluções de mobilidade inteligente, a capacidade de automóveis comunicarem entre si ou com unidades de monitoramento e de colaboração de uma cidade inteligente cria a oportunidade de soluções de tecnologia que implementem um cenário participativo entre essas unidades em prol de uma melhor mobilidade de tráfego urbano.

A rede veicular auto-organizável de múltiplos saltos (*Vehicular multihop Ad hoc NETWORK - VANET*) é um paradigma de rede de comunicação que permite que veículos se comuniquem entre si e com estruturas fixas auxiliares, através de protocolos de comunicação de sem fio especificamente desenvolvidos para este cenário. O paradigma VANET viabiliza a criação de soluções de aplicação para o cenário urbano onde existam automóveis portadores de unidades de computação e comunicação que proporcionem meios de trocas de informações sobre condições gerais do veículo, do ambiente onde ele se encontra e de dados atuais e históricos de sua mobilidade, bem como informações que podem ser geradas pelos próprios condutores e passageiros.

## 1.1 Motivação

A implementação de um mecanismo de detecção e controle de congestionamento que prescindia de uma infraestrutura central para seu pleno funcionamento viabiliza uma solução sem custo de criação para uma cidade inteligente, uma vez que os próprios veículos seriam capazes de torna-lo operante a medida em que habilitem a solução enquanto estiverem dentro da cidade.

Mesmo considerando que nos dias atuais existem meios de comunicações móveis que permitam comunicação com infraestruturas centrais em situações dentro da normalidade, este mecanismo se apresenta como uma alternativa para um cenário onde haja algum tipo de falha parcial ou completa na comunicação central dos veículos ou cidadãos com essa infraestrutura central.

Situações como evacuações de emergência podem ser otimizadas se considerarmos que uma infraestrutura central precise ser informada de eventos, processar informações antes de repassá-las a partes envolvidas ou disseminar orientações a grupos determinados de usuários. Em um episódio de evacuação compulsória de mais de 2 milhões de habitantes de Bangkok, descrito em [5], a maior parte das avenidas principais estavam intransitáveis. Informações sobre rotas alternativas não haviam sido devidamente divulgadas. Os moradores precisaram contar com informações de tráfego geradas por si próprio e compartilhadas por meios como rádios locais ou redes sociais. Em casos onde informações geradas pelos próprios usuários/veículos sejam mais efetivas e rapidamente assimiláveis, um gerenciamento de tráfego descentralizado parece ser mais indicado. Neste caso soluções V2V e V2X surgem como sistemas de comunicação de propósito específico que proporcionariam maior efetividade.

Adicionalmente, pretende-se demonstrar que o mecanismo de disseminação e agregação de mensagens INATIS, proposta em [2], é indicado para servir de base para uma aplicação real, uma vez que é capaz de prover informações sobre condições de tráfego de um mapa, sem nenhum tipo de infraestrutura central. Utilizando apenas de informações inferidas e disseminadas pelos próprios veículos, o modelo de disseminação do INATIS se apresenta como uma solução indicada para uma aplicação de controle e detecção de congestionamento uma vez que comprovadamente adota políticas de utilização do meio físico otimizadas para o cenário urbano, com disseminação controlada de informação através de eventos específicos de disseminação e agregação de dados, evitando a inundação de mensagens, o que comprometeria qualquer solução de controle e congestionamento em tempo real.

## 1.2 Objetivos

Esta dissertação objetiva estender o trabalho de [2], onde foi proposto o esquema INATIS para agregação e disseminação de mensagens em redes VANET. Será apresentado o DESVIA, um mecanismo de detecção e controle de congestionamento que parte do mecanismo INATIS como base de infraestrutura para disseminação de conteúdo nos cenários de rede veicular.

Este trabalho estende o INATIS, propondo alterações que o otimizam para o cenário de controle de congestionamento. Em complemento ao proposto pelo INATIS, são identificados como eventos de reenvio de mensagens situações que sugerem impactos diretos nas condições de tráfego de uma topologia, como a identificação de mudança relevante de velocidades médias em segmentos ou a alteração de classificação de condição de tráfego entre os níveis propostos nesse trabalho.

Adicionalmente, este trabalho implementa um algoritmo de detecção de congestionamento baseado em lógica *fuzzy* para classificação de condições de tráfego. A tomada de decisão sobre re-roteamento de percurso é baseada nas alterações de condições de classificação de tráfego, utilizando tanto informações que o próprio veículo coleta sobre sua viagem quanto informações recebidas de outros veículos em viagem no mesmo cenário.

A solução proposta neste trabalho baseia-se nas premissas de que não haja uma infraestrutura de rede disponível e de que todas as informações disponíveis para a tomada de decisão e mapeamento de condições de tráfego são geradas pelos próprios veículos do cenário. Assume-se que cada veículo tem capacidade computacional e de comunicação que permitam a troca de mensagens através do protocolo WAVE. As bases de dados são locais aos veículos e são compartilhadas através de mensagens INATIS.

## 1.3 Contribuições

Como contribuição deste trabalho tem-se a proposta de um novo mecanismo de detecção de controle de congestionamento para VANETs, que promove a melhoria da mobilidade veicular em um ambiente urbano, de maneira escalável, sem custo de implantação de uma infraestrutura de apoio, não tendo restrições de sua aplicabilidade a cenários urbanos ou de rodovia, quer sejam densos ou esparsos e independente de características do próprio veículo.

Além disso, este trabalho resultou na criação em software de uma aplicação que im-

plementa os mecanismos de detecção e controle de congestionamento acima mencionados. Essa implementação foi desenvolvida utilizando a ferramenta de simulação de redes Omnet++ e o *framework* Veins, que oferecem a simulação de redes veiculares, tanto nos aspectos de comunicação entre nós, simulação do meio e modelagem de propagação de sinal, bem como interação com o simulador SUMO para tratar aspectos referentes a mobilidade veicular dentro da simulação de rede.

A avaliação foi realizada em ambiente Linux Ubuntu 16.06, com simulações de cenários realísticos nas ferramentas acima citadas, utilizando mapas de topologia urbana gerados artificialmente com obstáculos físicos que simulam edificações presentes em ambientes urbanos para prover maior realismo ao meio físico através do qual serão trocadas mensagens entre os veículos utilizando o protocolo WAVE.

#### 1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida da seguinte maneira. No Capítulo 2 é apresentado o tema de Cidades Inteligentes e Mobilidade Inteligentes, que são os temas de pesquisa aos quais se aplica a solução proposta neste trabalho. Em seguida é descrito o paradigma das VANETs, explicando sua arquitetura e sua aplicabilidade como ferramenta de comunicação de soluções que enfoquem na promoção de otimizações de mobilidade na área ITS (Intelligent Transportation Systems).

No Capítulo 3 é apresentado um levantamento de trabalhos relacionados sobre soluções de detecção e controles de congestionamento propostos na literatura utilizando VANETs, explicando suas abordagens.

No Capítulo 4 é proposto o mecanismo de detecção e controle de congestionamento veicular denominado DESVIA. Baseado no mecanismo de disseminação INATIS e seu funcionamento e contribuições são detalhadas, explicando como cada componente contribui para melhoria geral do tráfego veicular em cenários urbanos.

Adicionalmente, no Capítulo 5 é apresentada a avaliação do trabalho e os resultados observados. Neste capítulo são descritos em detalhes o cenários de avaliação da proposta, bem como se justifica as métricas utilizadas para avaliar o ganho da proposta sobre outros cenários de avaliação.

Por fim, no Capítulo 6, o trabalho é concluído e são apontadas ideias sobre trabalhos futuros que podem utilizar este trabalho como base para avançar ainda mais o estado da arte no tema de detecção e controle de congestionamento utilizando VANETs.

## 2. Cidades inteligentes e mobilidade

O objetivo desse capítulo é dar uma visão geral sobre as cidades inteligentes e a aplicabilidade de soluções de mobilidade nesse contexto. Adicionalmente, pretende-se descrever de maneira geral a infraestrutura sobre a qual o mecanismo proposto nesse trabalho será desenvolvido.

### 2.1 Cidades Inteligentes

O conceito de Cidades Inteligentes tem ganho grande relevância como área de pesquisa recentemente. À medida em que cidades se tornam cada vez mais populosas e densas, o oferecimento serviços de utilidade pública e a governança de uma cidade se apresentam como desafios cada vez mais custosos e complexos. Serviços como fornecimento de energia e saneamento, transportes urbanos, automação predial, saúde, etc, necessitam de maior controle e otimização de processos para minimizar os custos de operação sem deixar de funcionar com qualidade e em escala para atender à toda a população.



Figura 2.1: Cidades inteligentes [1]

Aliado ao conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*), soluções para cidades inteligentes podem se utilizar de informações geradas por equipamentos de moni-

toramento e / ou de colaboração para criar aplicações que proporcionem melhorias à vida cotidiana da população em geral.

Segundo [6], o conceito de cidades inteligentes pode ser subdividido em vários domínios e subdomínios de atuação, onde aspectos comuns de uma cidade podem ser agrupados de maneira a ter possíveis soluções correlacionas.

- Melhoria de vida (*life-enrichment*): nesta categoria se enquadram soluções domésticas, comunitárias, de saúde e educação.

- Administração e serviços públicos: nesta categoria se enquadram soluções de supervisão de segurança pública, de controle de suprimentos, de otimização de tráfego, de turismo e de proteção ambiental.

- Gerenciamento de recursos de grande escala: nesta categoria se enquadram soluções de otimização no provimento de água, eletricidade e agricultura.

Apesar de tratarem aspectos diversos da vida da população em um ambiente urbano, soluções de diferentes domínios em cidades inteligentes têm em comum o fato de utilizarem soluções de tecnologia como apoio para a promoção de melhoria de um aspecto qualquer. Em [7] são apresentadas tecnologias que servem de infraestrutura para a implementação de soluções de cidades inteligentes e os casos de uso mais comuns. São listados casos de uso classificados como sensoriamento inteligente e medição inteligentes, que puderam ser viabilizados em larga escala devido ao desenvolvimento de soluções otimizadas para este propósito, como o protocolo IEEE 802.11ah, onde o esquema de modulação e codificação aliado a utilização de bandas relativamente estreitas permitem tráfegos potências da grandeza de Mbps e até 1Km de alcance de transmissão em uma potência de 200mW. Essa solução viabilizou casos de uso de aplicações de sensoriamento para smart meters (medidores inteligentes de consumo de energia, gás e água), smart grids (rede inteligente de fornecimento de energia), monitoramento de meio-ambiente e agricultura (sensores de temperatura de umidade, velocidade de vento, maré, poluição, condições animais, incêndio), automação industrial (refinamento de petróleo, metalurgia e farmacêutica), sistemas de monitoramento de saúde e exercícios físicos (pressão arterial, batimentos cardíacos e peso) e auxílio doméstico a idosos (sensores de queda e monitores de doses medicinais).

Nessas soluções, geralmente são previstos pontos de acesso responsáveis por coletar informações desses equipamentos periodicamente para agregação e compartilhamento com a infraestrutura central da solução para análise de eventuais tomadas ações e / ou armazenamento de histórico de dados.

## 2.2 Mobilidade Inteligente

Este trabalho descreve uma solução de mobilidade inteligente. Através da utilização de capacidades de computação e comunicação móvel, pretende-se de maneira inteligente promover melhor mobilidade veicular em um ambiente urbano através de uma solução descentralizada, colaborativa e não infraestruturada. Segundo [8], a mobilidade é um dos tópicos mais difíceis a enfrentar em grandes regiões metropolitanas. Ela envolve tanto aspectos econômicos e ambientais, quanto precisa de alta tecnologia e comportamentos virtuosos dos usuários.

Pode-se atribuir ao congestionamentos de trânsito prejuízos diretos e indiretos que uma sociedade pode perceber em decorrência do tempo excessivo dispensado a viagens recorrentes dentro de uma cidade. Esses prejuízos podem ser percebidos em diversos aspectos de uma grande cidade, como a poluição excessiva gerada pelos veículos automotores em viagens mais demoradas, custos adicionais com os quais condutores precisam arcar (como combustível e manutenção veicular), diminuição da produtividade do trabalhador que gastar energia demais em trajetos de ida e volta do trabalho e até mesmo a percepção geral de qualidade de vida pela população. De acordo com [9], somente na cidade de São Paulo, que representa 12% do PIB brasileiro, a crise de mobilidade custa por ano mais de R\$40 bilhões, valor equivalente a 1% do PIB brasileiro. Esses números demonstram a grandeza do quanto se pode obter de retorno em investimento em soluções de mobilidade urbana em apenas uma cidade do país, o que comprova a relevância do tema mobilidade inteligente como uma vertente de melhoria das condições de vida de uma cidade e o retorno econômico que pode oferecer a um país em longo prazo.

## 2.3 Redes Veiculares

Uma rede veicular pode ser um tipo de rede móvel ad-hoc (*Mobile Ad-Hoc Network - MANET*) que prevê a comunicação entre veículos que estejam próximo e equipamentos de apoio próximos a vias. O termo V2V (*vehicle to vehicle*) é designado para caracterizar os cenários de comunicações entre veículos de uma rede VANET, já o termo V2I (*vehicle to infrastructure*) caracteriza os cenários entre veículos e unidades de apoio a serviços de redes veiculares geralmente fixos. Uma VANET é uma rede formada por veículos e unidades de apoio com capacidade de comunicação baseada no padrão WAVE.

A camada física do WAVE opera no espectro entre as frequências de 5.860 e 5.920 GHz e é dividida em 7 canais, cada um com largura de banda de 10MHz. Nela, são reservados

os canais de borda do espectro para aplicações de segurança e emergência. Os canais centrais podem ser utilizados para serviços e controle, conforme apresentado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Espectro WAVE [2]

Mais recentemente, na literatura começa a emergir o tema de Internet de Veículos (IoV). Esse modelo de comunicação engloba não somente as tecnologias de comunicação especificadas para para o paradigma das VANETs, mas também associa a comunicação com ambientes externos às VANETs para oferecer serviços ainda mais completos e de maior valor a condutores e passageiros.

Na Figura 2.3, proposta por [3], é exibida uma ilustração com as diferentes modalidades de conectividade em um ambiente veicular. Além das abordagens V2V e V2I, já discutidas no âmbito de VANETs, são propostas as interações entre veículos e sensores, denominado de V2S (*Vehicle to Sensor*) e comunicações entre veículos e redes sem fio estruturadas, como redes celulares, sendo comunicações com infraestruturas utilizando protocolos de redes não WAVE.

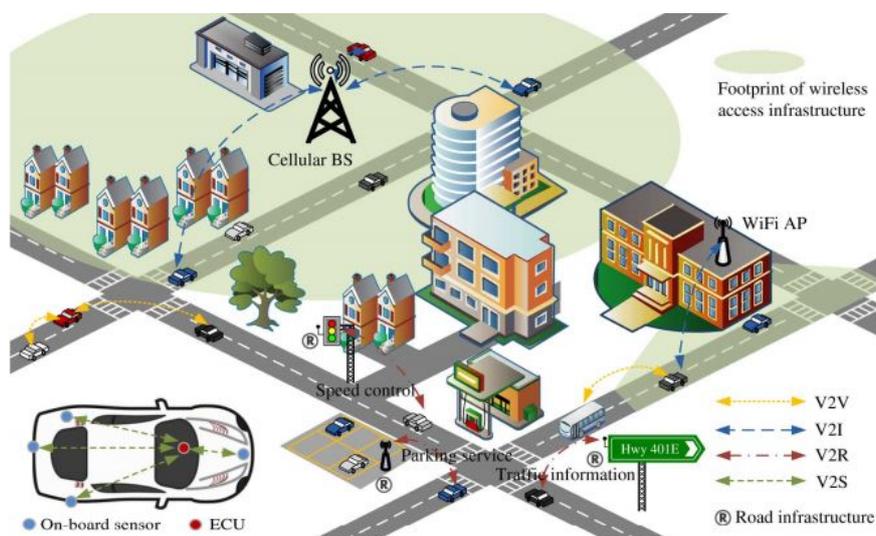


Figura 2.3: Visão geral de conectividade em IoV [3]

## **3. Trabalhos relacionados**

### **3.1 Veículo para Veículo - V2V**

O paradigma de redes VANET propõe um padrão de comunicação sem fio (WAVE) tanto de veículos para veículos (V2V), quanto de veículos para infraestruturas fixas auxiliares (V2I). Este padrão serve como base para o desenvolvimento de serviços e aplicações diversos que possam servir a diferentes propósitos de um cenário de mobilidade veicular, desde aplicações de segurança de tráfego e prevenção de colisões, passando por otimização de tráfego e chegando até a aplicações de entretenimento e serviços direcionados a clientes.

Para esse trabalho é particularmente interessante o padrão V2V devido a sua baixa complexidade de implementação e portabilidade de solução. Sendo uma solução V2V viabilizada apenas pela presença de veículos com aplicações que a implementem, assume-se que a adoção da solução em qualquer cenário por onde veículos transitem seja simples, transparente e auto-organizável. É dispensável portanto o gerenciamento do serviço por parte de uma entidade central, que seria custosa de se criar, manter e evoluir. Uma vez tendo um grupo de veículos habilitados ao uso da aplicação em uma região, a solução estará automaticamente disponível e operante. A habilitação de um veículo ao uso de uma solução de VANET-V2V pode ser feita isoladamente através de uma aplicação instalada em fábrica ou até mesmo instalada pelo próprio condutor.

Apesar de considerarmos que ambientes urbanos na atualidade possuem conectividade praticamente ubíqua, com boa qualidade de acesso através das redes móveis celulares nos padrões 3G e 4G e a popularização de aparelhos celulares pessoais compatíveis com tais padrões, pode-se compreender como adequado o uso do padrão V2V para soluções de transporte inteligente principalmente em cenários urbanos de localidades com menor desenvolvimento humano. Tendo as instituições governamentais menos capacidade de implantar serviços de transporte inteligentes infraestruturados e gerenciados, soluções que

prescindam de tais controles se mostram adequadas.

Nas próximas seções deste capítulo serão brevemente apresentadas soluções utilizando o paradigma de VANET-V2V. Primeiramente, serão listadas algumas soluções de disseminação de dados utilizando a abordagem V2V. Em seguida, serão descritas propostas de solução para detecção de congestionamento utilizando a abordagem V2V. Finalmente, serão apresentadas algumas propostas de controle de congestionamento.

### 3.2 Disseminação

Para a efetividade de qualquer tipo de solução baseada em V2V, a estratégia a ser utilizada para a troca de mensagens entre os veículos deve ser definida de maneira a garantir a distribuição da informação por eles observada e/ou calculada. Deve ser levado em consideração necessidades da aplicação, características de mobilidade dos veículos e os recursos disponíveis para comunicação [10]. Ao mesmo tempo é importante que não se ponha em risco a disponibilidade do meio físico, evitando estratégias de disseminação que resultem em inundação de mensagens e, por consequência disso, inviabilize a solução em possíveis cenários de alta densidade de veículos.

Algumas soluções de disseminação utilizam o tempo como o fator determinante para o gatilho de disparo de mensagens. No trabalho [11] é descrito o mecanismo SOTIS (*Self-Organizing Traffic Information System*), que utiliza uma abordagem de disseminação de mensagens de tempo fixo, configurado em dois segundos. Essa abordagem de disseminação negligencia aspectos referentes ao trânsito do veículo para o envio de mensagens. Já o trabalho de [12] é proposta uma abordagem de disseminação com espera aleatória, onde a determinação do tempo entre o envio de uma mensagem e o envio da última mensagem é através de um valor obtido aleatoriamente em um intervalo de tempo. O mecanismo INATIS (*In Network Aggregation for Traffic Information System*) de [2] descreve um mecanismo de disseminação de mensagens onde o evento de disparo do envio de mensagens é a posição do veículo em uma topologia urbana. Ao passar por uma interseção, um veículo tem maior alcance de envio de mensagens considerando que haveria menos obstáculos ao seu redor. Adicionalmente, o número de veículos em sua linha de visão seria maior, pois se somariam os veículos presentes no segmento por onde o veículo da interseção (disseminador da mensagem) passou aos veículos que estivessem nos segmentos conectados a tal interseção. Especificamente para o cenário de detecção e controle de congestionamento, o mecanismo de disseminação INATIS é particularmente adequado por disseminar mensagens em momentos onde é mais provável atingir um número grande de veículos, mas

também pelo momento de disseminação ser ao final da passagem por um segmento. Neste momento, um veículo terá completado sua observação de condição de tráfego do segmento e, assim, poderá repassar a informação sobre ele com maior assertividade.

As três abordagens de disseminação acima foram utilizadas em soluções de sistemas de informação de tráfego. SOTIS e INATIS dividem a topologia em segmentos, que compreendem trechos entre duas interseções (cruzamentos, esquinas ou entroncamentos).

O presente trabalho utiliza o INATIS como o mecanismo de base para disseminação de mensagens entre veículos por considerar adequadas tanto a abordagem de divisão do mapa em segmentos quanto ter a passagem por interseções como um evento de gatilho para envio de mensagens. Assim, neste trabalho, são adicionados ao INATIS eventos de gatilho para o envio de mensagens próprios do cenário de controle de congestionamento.

### 3.3 Classificação de condição de tráfego

Em uma topologia representando um mapa realístico de uma região urbana, é esperado que existam vias com grandes variações entre si em suas características de trafegabilidade. Vias expressas de múltiplas faixas, de alta velocidade de tráfego e com alta capacidade de fluxo podem compor a malha viária de um centro urbano juntamente com trechos estreitos, tortuosos e que requeiram uma condução lenta mesmo em cenários de tráfego livre. Uma rota determinada entre uma origem e destino dentro de uma cidade pode ser composta por diversos trechos com diferentes características. Para que seja possível uma representação geral de condição de tráfego de uma cidade, é necessária a definição de classificações de referência, que são calculadas levando em consideração aspectos específicos de cada trecho, mas resultando em uma classificação comum que possa ser atribuída a todos os eles.

Em trabalhos como [13] e [14] são utilizadas análises de lógica *fuzzy* para atribuição de classificações de condições de congestionamento como *Slight*, *Moderate*, *Free* e *Severe*. Essas condições são posteriormente utilizadas para detecção de situações de congestionamento.

A estimativa de densidade veicular pode ser imprecisa na medida em que estejam trafegando na topologia veículos não participem da solução. Além disso, retenções podem ser causadas independentemente da densidade de veículos no trecho, mas por conta de fatores excepcionais, como desvios, acidentes ou algum tipo de bloqueio de faixa.

O *Highway Capacity Manual* (HCM) [15], é mantido pelo *Transportation Research*

Board of the National Research Council dos Estados Unidos, que é um órgão governamental que definiu simplificações que auxiliam na descrição e comparação de performance de meios de transporte. São utilizados níveis de serviço para cada tipo de meio de transporte, classificados entre "A" (alta qualidade de serviço) e "F" (qualidade ruim, afetadas por congestionamentos ou algum outro tipo de implicação). A maior facilidade de entendimento dessas classes se comparadas a números fez com que desde sua sugestão, no HCM de 1965, elas tenham sido adotadas em diversas esferas de discussão do controle de tráfego, tanto governamentais quanto acadêmicas[16].

A ferramenta de navegação Google Maps [17] sugere representações cromáticas das condições de tráfego nos trechos de suas topologias, partindo da cor verde ("Rápido"), passando por amarelo, vermelho e vinho ("Lento"). Essa representação é exibida no mapa gráfico sobre cada trecho, dando assim uma visão simplificada e de mais fácil compreensão sobre o panorama geral de tráfego de uma região, como pode ser visto na Figura 3.1.

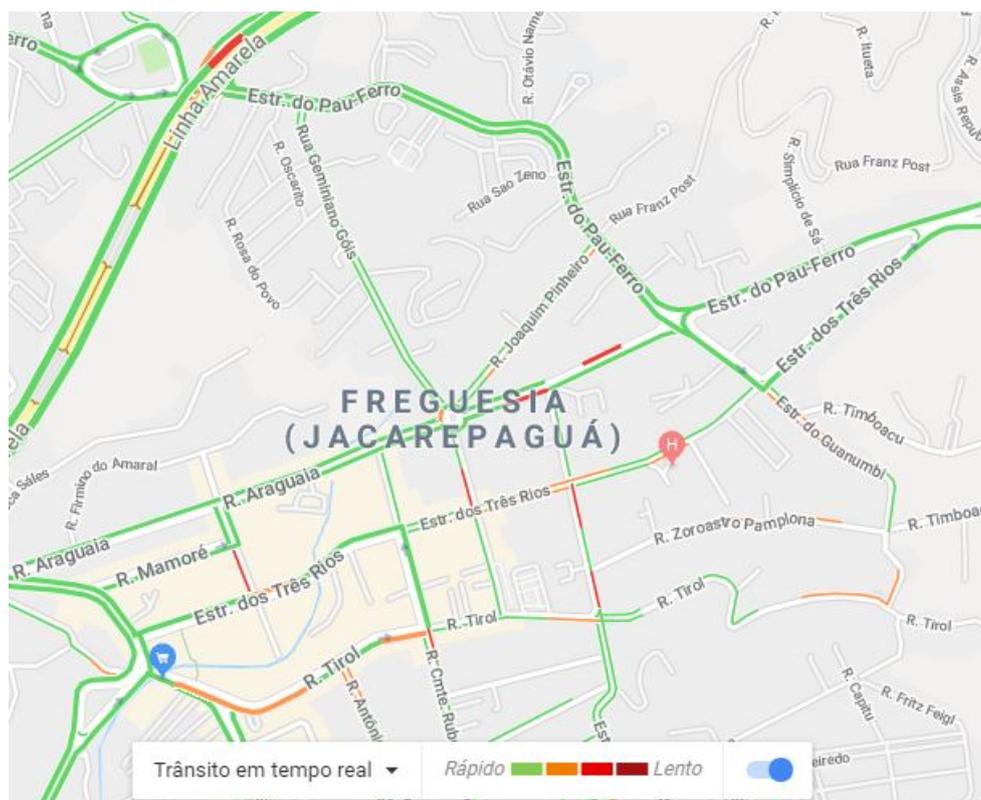


Figura 3.1: Visualização gráfica classificação de condição de tráfego Google Maps

A proposta do google maps tem dependência da infraestrutura de redes celular para funcionar. Em eventuais problemas de cobertura de sinal ou de falha da infraestrutura central a solução é inviabilizada.

### 3.4 Detecção de Congestionamento de Veículos

Na literatura, o problema de pesquisa de detecção de congestionamentos utilizando abordagem V2V foi abordado utilizando diferentes parâmetros de entrada para classificação de uma via como congestionada.

Em [13] é apresentado o mecanismo CoTEC (*COperative Traffic congestion detECTION*). Este mecanismo se baseia em lógica *fuzzy* e utiliza densidade estimada de veículos e a velocidade dos veículos em determinada via para determinar o nível de congestionamento em determinada via. Para se determinar a densidade de uma determinada via sem ter uma infraestrutura central que a observe, *beacons* recebidos de veículos próximos são utilizados como parâmetro de entrada. Através das informações de localização e velocidade existentes nesses *beacons*, que são armazenadas em tabelas internas de dados sobre veículos próximo, cada nó poderá estimar e classificar o nível de congestionamento da via.

Em [18] é apresentado o mecanismo ECODE (*Efficient road COngestion DETection protocol*) que é uma solução de detecção de congestionamento que analisa os dados básicos observados pelo veículo (velocidade, densidade e tempo de viagem) para cada segmento de uma topologia. Cada veículo pode reportar seus dados eficientemente para outros veículos que isoladamente avaliam as condições globais de congestionamentos baseando-se tanto em informações computadas por si próprios, como em informações recebidas de seus vizinhos. Adicionalmente o ECODE avalia um modo de operação com RSUs (*Road Side Units*) que atuam similarmente aos veículos da simulação, entretanto analisando apenas dados recebidos por veículos que passem por elas. Adicionalmente também enviando informações por elas já computadas para os veículos em seu alcance.

Em [19] é proposto um mecanismo de detecção de congestionamento de tráfego veicular e de incidente a partir da análise de logs de GPS coletadas por navegadores veiculares ou por *smartphones* de condutores. Nele há um pré-processamento de coordenadas para adequação ao mapa e as alterações nas localizações ditam a situação de tráfego e as velocidades dos veículos. O mecanismo envia alertas aos usuários baseados em análise espaço-temporal dos trechos mapeados. Esses alertas proveem informações sobre o estado do tráfego (incidentes, tráfego lento, tráfego bloqueado, etc.) e as velocidades estimadas dos trechos analisados.

O fato de se necessitar de uma infraestrutura central para o provimento do serviço de controle de congestionamento, como em [18], [13] e [19], torna suas implementação mais complexas, custosas e supostas a falhas centrais.

### 3.5 Controle de Congestionamento de Veículos

Para resolução do problema de controle de congestionamento de veículos, na literatura foram propostas diversas abordagens. Um aspecto importante para a definição de uma abordagem solução para este problema é a adoção de soluções de controle globais e baseadas em algum tipo de planejamento ou uma solução de controle auto-organizável e local. Soluções globais normalmente preveem uma infraestrutura de gerenciamento central para interferência em aspectos externos aos veículos da solução, como controles de interseções e de acessos e comunicação indireta com veículos. Soluções locais consideram ações de controle de imediatas e baseadas em abordagens "gulosas". Apesar de soluções globais aparentarem ser sempre melhores soluções, elas apresentam fatores que podem restringir sua ação na prática, como limitações nas comunicações entre veículos e vulnerabilidade dos sistemas de controle [4].

Trabalhos que prevêm soluções de controle de congestionamento baseadas em otimização no gerenciamento de interseções podem tratar esse gerenciamento sobre diferentes perspectivas. Em [20] o planejamento do controle de semáforos é baseado em observações históricas e propõem uma solução estática utilizando programação linear para a otimização de fluxos. Em [21] é apresentada solução de controle de congestionamento que se utiliza de *loops* de indução para a contagem em tempo real de veículos chegando a determinada interseção e, baseada nessa contagem, é tomada a decisão sobre a fase do semáforo. Uma evolução dessa abordagem é apresentada em [22], [23] e [24] onde há um controle adaptativo e integrado de interseções onde se permite fazer modelos de previsões de taxa de chegadas de veículos a cada uma das interseções, permitindo assim estimar tamanhos de filas formadas e interferindo no funcionamento dos semáforos para minimizar os tamanhos de filas esperadas em cada uma das interseções, promovendo assim melhorias no tráfego de uma cidade.

Nos estudos descritos anteriormente não foram consideradas as trocas de informações entre veículos e infraestrutura sobre rotas planejadas, mas apenas a captação de informações sobre localização e movimento. Soluções cooperativas de controle de congestionamento preveem a geração de informações sobre os planos de viagens dos próprios veículos. Este conceito é chamado de "*Cooperative Driving*". Soluções que utilizavam *Cooperative Driving* [25] [26] previam inicialmente soluções que buscavam agrupamentos de veículos em pelotões (*platooning*) com o fim de otimizar os fluxos em interseções como foi descrito na Seção 3.2. Isso era possível a medida que o controle de semáforos objetive bloquear o mínimo possível a viagem de pelotões, uma vez que isto representaria um ganho coletivo em tempos de viagem no cenário de avaliação. Soluções como [27] preveem que veículos

em trânsito possam acelerar para alcançar algum pelotão estabelecido ou ainda reduzir a velocidade para se desgarrar de um pelotão. Ainda em [27], o conceito de "Cooperative Driving" é utilizado para gerenciamento de tráfego e controle de congestionamento em interseções sem sinalização.

A soluções de [20], [21], [22], [23], [24] e [27] necessitam de interação com semáforos ou intervenção de unidades auxiliares para seu pleno funcionamento, o que torna a implantação e operação complexas e custosas.

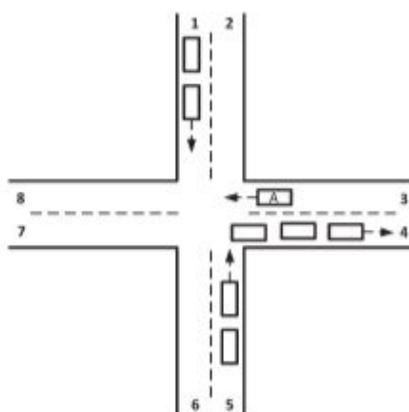


Figura 3.2: Ilustração de um controle baseado em pelotões, onde o veículo A seria bloqueado pelo semáforo para que os pelotões das faixas 1 e 5 pudessem seguir sem interrupção [4].

As soluções mais recentes de controle de congestionamento utilizam comunicações em tempo real com veículos no mapa. Desta maneira, veículos em trânsito podem fornecer como entrada a um mecanismo de controle de congestionamento informações atualizadas sobre o plano de viagem e os estados de outras variáveis que possam influenciar no controle de tráfego, como localização, velocidade e perfil de veículo. Os estudos anteriores previam um conhecimento prévio da dinâmica de tráfego para em algum nível prever parâmetros, mas estes passam a estar disponíveis através das comunicações veiculares. Através do paradigma das VANET, baseadas no protocolo WAVE, é possível operacionalizar tal troca de informações entre veículos e de veículos com infraestruturas auxiliares. As ações tomadas pelos mecanismos de controle de congestionamento passam a ser também respostas a eventuais mudanças de estados em variáveis do cenário de tráfego.

Em [28] é proposto uma solução utilizando algoritmos genéticos onde o gerenciamento de tráfego baseado em feromonas. A decisão sobre roteamento de veículos e controle de semáforos de interseções são baseadas em informações que cada veículo da simulação compartilha com infraestrutura auxiliar. Essas informações são chamadas de feromonas nesse contexto e representam informações de tráfego (velocidades, veículos parando

e distâncias entre veículos) e intenção (plano de viagem). Processando as informações compartilhadas pelos agentes de veículos utilizando modelagem e previsão de tráfego baseados nesses feromonas a infraestrutura central do mecanismo redefine planos de viagem e sincronização de semáforos também se baseando em feromonas.

Em [14], é descrita uma solução de controle de congestionamento em VANETs baseada em uma abordagem V2V, onde as estimativas de níveis de congestionamento são feitas pelos próprios veículos comunicando-se cooperativamente. Quando uma situação de congestionamento é encontrada, os autores propõem uma heurística que prevê que RSUs, que tenham sido informadas sobre esse evento, passem a disseminar mensagens para veículos em outros pontos da topologia com o fim de alarmar a condição de congestionamento de determinado trecho e, por isso, recomendar que o tráfego por ele seja evitado.

Já em [29] é proposto um protocolo para sinalização e estimativa de níveis congestionamento locais. A disseminação é baseada em clusterização e veículos podem redefinir suas rotas a medida em que recebam tais notificações de alteração de estimativas de locais com congestionamentos.

Como pontos a melhorar [14, 28, 29], seria interessante ter uma solução independente de infraestrutura auxiliar e de veículos que exercem papel central na solução. Isso evitaria o risco de se ter falha em um ponto crítico da solução que possa comprometer o funcionamento como um todo.

O trabalho de [30], propõe um protocolo de otimização de tráfego utilizando exclusivamente comunicações V2V através da migração dos semáforos de trânsito convencionais para representações virtuais executando no próprio veículo. Veículos selecionados serviriam como infraestrutura temporária de uma interseção, sendo responsável por disseminar por *broadcast* mensagens referentes a luzes de semáforo, que seria exibidas para o condutor internamente ao veículo. A solução de [30] pode ter problemas com eventuais falhas locais em veículos, expondo-os a risco de colisão caso alguma mensagem deixe de ser processada.

O trabalho [31] é uma proposta de controle de congestionamento de tráfego que utiliza uma abordagem de controle de permissão de tráfego de veículos por determinadas regiões. Essa solução prescinde de uma infraestrutura central e os próprios veículos trocam *tokens* entre si que representariam permissões de tráfego por diferentes regiões. Assim, haveria a diminuição da quantidade de veículos em uma região e congestionamentos seriam evitados. No caso de [31], é possível que condutores desobedeçam a instrução de não trafegar por regiões congestionadas, ou mesmo veículos não estejam utilizando a solução proposta,

o que coloca em risco o benefício esperado.

## 4. Proposta

Neste capítulo é proposto o mecanismo de detecção e controle de congestionamento veicular, denominado DESVIA. A ideia é propor um mecanismo auto-organizável e de baixo custo, que possa servir como solução auxiliar para detecção e controle de congestionamento em um ambiente urbano.

Através da utilização do paradigma VANET-V2V para estabelecer uma rede de comunicação entre veículos trafegando dentro de uma cidade, esta proposta pretende se valer de um mecanismo de disseminação de mensagens qualquer para que os nós desta rede (no caso os veículos) possam trocar informações entre si e sejam capazes de, por si só, viabilizar uma aplicação colaborativa, distribuída, descentralizada e independente de qualquer infraestrutura auxiliar. As informações observadas, inferidas e recebidas pelos veículos são utilizadas por cada um deles isoladamente para determinar qual é a melhor rota a seguir para chegar em menos tempo ao destino de sua viagem.

O capítulo está organizado em três partes. Na primeira, é apresentada uma visão geral do mecanismo e descreve-se as ideias sobre as quais estão baseadas as propostas. Em seguida, é explicado como o mecanismo irá prover uma solução de detecção de congestionamento. Ao final, a solução de controle de congestionamento implementada será detalhada, explicitando como a proposta pode contribuir para uma melhor mobilidade veicular em uma cidade.

### 4.1 Visão Geral

O mecanismo de detecção e controle de congestionamento proposto neste trabalho foi concebido para funcionar independentemente de qualquer estratégia de disseminação e agregação de mensagens. Dessa maneira, é possível avaliar a solução proposta nesse trabalho alterando as soluções de disseminação e agregação de mensagens que sirvam de

fonte de informações para a avaliação das condições de tráfego dentro de uma cidade.

Para este trabalho em específico, a solução de disseminação e agregação de mensagens a ser utilizada como base para a implementação de seus artefatos e, por consequência, para a avaliação dos resultados, será o INATIS [2], onde se considera alguns fatores que representam complicações para a solução, como a perda ou atenuação de sinal devido a alta incidência de obstáculos físicos (como prédios, casas e edificações de qualquer natureza), bem como a alta concorrência pela acesso ao meio.

O INATIS propõe a divisão de mapas em segmentos. Segmentos são trechos de uma topologia compreendidos entre interseções. A disseminação do INATIS é baseada em interseções e suas informações são referentes a segmentos. A Figura 4.1 apresenta a divisão de um pequeno trecho de mapa em segmentos, onde cada um dos cruzamentos caracterizam interseções. Segundo [2], interseções são localizações indicadas para disseminação, por ter-se maior probabilidade de recebimento de informação por outros veículos, uma vez que existirão menos obstáculos impedindo o sinal de rádio de se propagar.

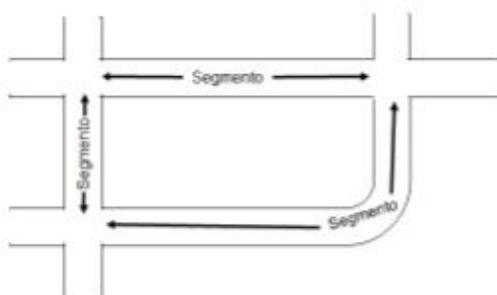


Figura 4.1: Segmentação baseada em interseções [2].

É assumido que cada veículo executando essa solução dispõe da representação da topologia da cidade em um mapa digital, em uma unidade computacional com capacidade de navegação em tempo real que proverá informações como localização do veículo no mapa e coordenadas de cada segmento e interseções. Utilizando essa representação de mapa em grafo será possível atribuir pesos a segmentos da topologia e realizar cálculos de melhores caminhos, considerando as informações de tráfego geradas e coletadas pelos próprios veículos.

Adicionalmente, o modelo de dados interno para o armazenamento da dados sobre segmentos também será baseado no modelo de armazenamento de dados do INATIS. Entretanto, o tamanho do *buffer* de armazenamento foi implementado como ilimitado. O limite de armazenamento imposto pelo INATIS se apresenta pouco realista para a solução de avaliação do DESVIA porque os dados armazenados em cada um dos veículos é da ordem de alguns Kilobytes enquanto as unidades computacionais veiculares atuais são

capazes de armazenar dados na ordem de alguns Gigabytes. Considerando isto, a imposição de limitação de capacidade de armazenamento de dados na solução de avaliação traria maior necessidade de processamento de dados na simulação, sem propor maior realismo aos experimentos nem maior credibilidade aos resultados.

São premissas desse trabalho que os veículos avaliados tenham capacidade computacional suficiente para a execução de uma aplicação que possua uma representação digital do mapa da cidade em questão, carregado previamente em sua base de dados. É assumido que os veículos estão equipados com dispositivos que permitam comunicação através do protocolo WAVE, como uma unidades de bordo (On Board Units – OBUs). Esta aplicação deve ser capaz de prover rotas ao usuário utilizando-se desse mapa e também ser capaz de disparar eventos de disseminação de informação quando apropriado, permitindo assim que todos veículos sejam capazes de se comunicar de acordo com os cenários de comunicação propostos pela solução.

Além disso são desconsiderados fatores como limitação de energia disponível para os dispositivos, já que veículos possuem baterias de grande capacidade, realimentadas pela própria energia gerada para a movimentação do veículo.

## 4.2 Detecção de Congestionamento

O mecanismo DESVIA prevê a avaliação contínua das condições de tráfego em todos os segmentos do mapa. Essas avaliações de condições de tráfego, entretanto, deverão ser realizadas de maneira autônoma. Isso significa que o mecanismo DESVIA em execução em cada veículo deverá isoladamente determinar como classificar as condições de tráfego de um segmento.

As variáveis utilizadas como parâmetros de entrada para o mecanismo de detecção de congestionamento deverão ser obtidas exclusivamente através de informações geradas pelos próprios veículos trafegando dentro da topologia. Isso incluirá as informações recebidas a partir de outros veículos referentes às suas percepções sobre o tráfego e também as medições que o próprio veículo realiza durante seu trajeto. Essas medições se tratam basicamente do monitoramento de sua distância percorrida no decorrer do tempo.

Um segmento enquadrado na classificação de condição de tráfego "Congestionado" representa a detecção de uma ocorrência de congestionamento em um determinado segmento. A detecção desta condição disparará o recálculo de menor caminho ao destino para veículos da solução do mecanismo de controle de congestionamento.

### 4.2.1 Classificação de condição de tráfego

O mecanismo de classificação de condição de tráfego é utilizado para determinar em que nível se pode considerar a fluidez de um determinado segmento de uma topologia urbana. Ao se criar diferentes níveis de condição de tráfego é possível diferenciar situações críticas de congestionamento de situações com leve retenção de veículos.

Especialmente para o mecanismo DESVIA, a classificação de condição de tráfego é realizada localmente por um veículo. A não existência de um oráculo que sumarie as informações obtidas do cenário nem de uma infraestrutura auxiliar que permita que todos os nós da rede tenham conectividade para que se possa ter todas as informações geradas calculadas ou inferidas pelos outros nós, impõe que a classificação de tráfego dada a um segmento seja isolada e ocasional. Portanto, a observação do cenário a partir do ponto de vista de um nó específico vai determinar para ele próprio a condição de classificação de tráfego. Com isso, pode-se afirmar que, eventualmente, dois veículos podem ter informações diferentes sobre determinado segmento de uma topologia, e assim classificar diferentemente a condição de tráfego de um mesmo segmento.

Entretanto, espera-se que em um cenário onde haja um certo grau de conectividade entre veículos resulte em uma convergência de avaliações de condição de tráfego entre todos os veículos, uma vez que as informações observadas e calculadas para o cenário estarão disponíveis para outros veículos mais frequentemente. Por consequência, as análises de condição de tráfego poderiam ser realizadas sobre parâmetros e variáveis com valores parecidos, resultando portanto em resultados de análise mais próximos.

As informações estáticas referentes à topologia são obtidas da representação computacional do mapa da região para a qual se executa a solução. Essas informações incluem dados sobre segmentos (comprimento, número de faixas, sentido de cada faixa, velocidade máxima permitida em cada segmento, etc) e sobre suas junções (esquinas, acessos e conexões entre faixas de segmentos diferentes).

Para o mecanismo DESVIA, os veículos analisam a condição de tráfego de determinado segmento a partir da comparação do valor de velocidade máxima de um segmento com a velocidade de tráfego medida pelo veículo. À medida em que a velocidade de tráfego medida pelo veículo diminua e se distancie da velocidade máxima de um segmento, o mecanismo DESVIA irá inferir que o tráfego em determinado segmento está se tornando cada vez mais congestionado. Em contrapartida, à medida em que a velocidade de tráfego medida pelo veículo aumente e se aproxime da velocidade máxima de um segmento, o mecanismo DESVIA irá inferir que o tráfego em determinado segmento está se tornando

cada vez mais livre.

As classificações de condições de tráfego são determinadas através de enquadramentos das velocidades médias observadas pelos veículos em razão das velocidades máximas permitidas por segmento. Para esta proposta, estes enquadramentos caracterizam condições de tráfego que serão associadas a cada segmento da topologia. Desta maneira, é possível atribuir aos segmentos classificações de condição de tráfego semelhantes, mas de maneira relativa.

As condições de tráfego representadas por estes enquadramentos estão baseadas no praticado pelo HCM (Highway Capacity Manual) [15]. Este manual descreve conceitos e propõe procedimentos de avaliação de performance e capacidade de tráfego baseadas em velocidade e densidade de veículos em vias. O HCM propõe a atribuição níveis de serviço a trechos da topologia para um melhor entendimento das condições de tráfego. Especificamente para o cenário de avaliação do DESVIA, onde segmentos possuem vias de faixa única, a velocidade média observada em um segmento se torna a métrica mais relevante para o cenário. Apesar de a densidade não ser avaliada diretamente, ela indiretamente exerce efeito sobre a solução, uma vez que em um segmento mais denso serão geradas mais mensagens e, com isso, a agregação de informações da solução irá convergir mais rapidamente para a real velocidade média observada nos segmentos.

A velocidade máxima de um segmento é dividida em faixas de porcentagem nas quais a velocidade medida por um veículo para determinado segmento é enquadrada. Para cada faixa de percentual utilizada para o enquadramento das velocidades de um segmento é associada uma classificação de condição de tráfego.

As classificações de condição de tráfego propostas pelo DESVIA estão representadas por 4 faixas de percentual sobre a velocidade máxima de segmento, conforme abaixo:

- Congestionado

Um segmento de uma via é considerado congestionado caso a velocidade medida para este segmento estiver compreendida entre 0% e 25% da velocidade máxima de um segmento.

- Lento

Um segmento de uma via é considerado congestionado caso a velocidade medida para este segmento estiver compreendida entre 25% e 50% da velocidade máxima de um segmento.

- Intenso

Um segmento de uma via é considerado congestionado caso a velocidade medida para este segmento estiver compreendida entre 50% e 75% da velocidade máxima de um segmento.

- Livre

Um segmento de uma via é considerado congestionado caso a velocidade medida para este segmento for maior do que 75% da velocidade máxima de um segmento.

A velocidade medida no segmento será baseada na velocidade observada pelo próprio veículo e/ou na velocidade armazenada no *buffer* interno com informações sobre os veículos em tráfego, que é calculada de acordo com o mecanismo de agregação de mensagens INATIS para este fim.

### 4.3 Disseminação

Alterações de condição de tráfego são eventos determinantes para o recálculo de rota a ser utilizada por veículos em suas viagens. Isso porque uma melhoria na condição de tráfego de um segmento pode criar uma rota através dele que sirva de alternativa à atual e cujo tempo de viagem estimado ao destino da viagem seja menor. Analogamente, a observação de uma piora na condição de tráfego em um segmento que esteja planejado em sua rota atual faz surgir uma rota alternativa deixando de passar por esse segmento, que propicie ao veículo um menor tempo de viagem estimado ao destino.

Por isso, para o DESVIA, a alteração de classificação de condição de tráfego é um evento pertinente para a notificação dos veículos trafegando na solução. Na observação de alterações de condição de tráfego é disparado o recálculo de melhor ao destino. O recálculo de melhor caminho tem maior probabilidade de resultar em uma nova melhor rota nos casos de observação de uma alteração de condição de tráfego em segmentos da topologia.

A alteração de classificação de condição de tráfego de um segmento pode tanto ser resultante de informações de velocidades em segmentos recebidas de outros veículos quanto pela velocidade observada pelo próprio veículo em sua passagem pelo segmento. A disseminação de informações em ocasião desse evento é uma melhoria proposta por este trabalho ao mecanismo INATIS. Especialmente para um mecanismo que tem como fim o servir de apoio para uma solução de controle de congestionamento, eventos inerentes

à observação de classificação de tráfego tornam-se essenciais para o bom funcionamento da proposta. Apesar de se admitir que mensagens disparadas por este evento sejam enviadas fora de interseções, portanto tendo maior atenuação de sinal devido a bloqueios de propagação decorrentes das edificações às margens de um segmento, entende-se que veículos que estejam próximos ou até mesmo em outras posições no mesmo segmento permitam que a mensagem seja repassada a nós que possam ter sua rota recalculada antes de chegar ao segmento. Sendo assim, seria possível que houvesse a adoção de uma rota alternativa a um segmento que, hipoteticamente, fosse classificado como congestionado por um veículo que por ele esteja trafegando.

---

### Algoritmo 1: Disseminação de mensagens

---

**Data:** *Buffer* interno de dados sobre velocidades de segmentos

```

1 Segmento atual "Livre";
2 while veículo em trânsito do
3   if recebe mensagem then
4     agrega dados sobre segmentos;
5     if alterou informações internas de segmentos then
6       envia mensagem com suas informações sobre segmentos;
7     else
8       não envia mensagem;
9   end
10  else
11    if passando por interseção then
12      calcula sua velocidade média no segmento anterior;
13      envia mensagem com suas informações sobre segmentos;
14    else
15      calcula sua velocidade média no segmento;
16      enquadra velocidade média em classificação de condição de tráfego;
17      if houve mudança de classificação de condição de tráfego then
18        envia mensagem com suas informações sobre segmentos;
19      else
20        não envia mensagem;
21      end
22    end
23  end
24 end

```

---

## 4.4 Controle de Congestionamento

A proposta de controle de congestionamento do DESVIA tem como ideia principal a premissa de que qualquer decisão tomada sobre determinação de rota de viagem seja feita de maneira autônoma por cada veículo do cenário. Mesmo considerando a autonomia citada, o mecanismo tende a convergir para uma avaliação de condição de tráfego semelhante para todos os veículos do cenário, uma vez que as velocidades médias de segmento observadas por cada veículo são compartilhadas por todos os veículos do cenário.

A partir das informações disseminadas pelos veículos do cenário e pelas velocidades observadas pelo próprio veículo, o controle de congestionamento do DESVIA terá parâmetros para avaliar o cenário atual de viagem de um veículo, baseado em uma rota e seu tempo estimado de viagem, e poderá atuar para tentar definir uma nova rota que poderá permitir ao veículo ter um caminho com tempo estimado de viagem menor ao mesmo destino.

A determinação de melhores caminhos que os veículos executando a aplicação do DESVIA utiliza o algoritmo de Dijkstra, onde os segmentos representam arestas do grafo de entrada e os pesos atribuídos a eles são o tempo estimado de passagem por eles.

#### **4.4.1 Recálculo de Rotas**

Para o recálculo de rotas o DESVIA atua de maneira reativa a qualquer alteração de condição de tráfego em segmentos que estejam no plano de rota atual e que possa resultar em um pior tempo estimado de viagem.

Considerando que uma classificação de condição de tráfego do mecanismo de detecção de congestionamento do DESVIA é caracterizada por um intervalo de valores de velocidade calculado segundo o percentual da velocidade máxima de um segmento, é possível que alterações de velocidade estimada em um segmento, mesmo que dentro da mesma classificação de condição de tráfego, impliquem em uma situação onde exista uma nova rota que seja melhor que a rota atualmente planejada para um veículo. Caso o veículo executando o DESVIA receba a informação sobre um segmento que informe uma nova velocidade média de tráfego em um segmento que esteja em seu plano de rota atual, ele irá calcular novamente a rota mais rápida ao seu destino. Caso se identifique uma nova melhor rota ao seu destino, o veículo adotará a nova rota.

O pseudocódigo abaixo descreve a funcionalidade de controle de congestionamento

para a solução DESVIA:

---

**Algoritmo 2:** Controle de congestionamento DESVIA

---

**Data:** *Buffer* interno de dados sobre velocidades de segmentos, Rota Planejada Atual

```

1  while veículo em trânsito do
2      if novas informações são armazenadas em buffer then
3          while existir segmento com velocidade alterada do
4              atribui novo tempo de viagem estimada para segmento;
5          end
6          recalcula melhor rota para destino;
7          if melhor rota diferente de rota planejada then
8              veículo assume nova rota;
9          else
10             rota planejada é mantida;
11          end
12      else
13          end
14  end

```

---

De acordo com o algoritmo acima, quando um determinado segmento estiver congestionado, os veículos cujas rotas planejadas passavam por ele, provavelmente, serão redirecionados a rotas alternativas com trechos em comum. O trecho em comum seria o que desviaria a rota destes veículos do segmento congestionado. Por isso, há o risco de este trecho ficar sobrecarregado com o fluxo de veículos desviado e um novo congestionamento se formar.

Para mitigar este problema, este trabalho também avaliará uma solução alternativa do mecanismo DESVIA, chamado de DESVIA 2. No DESVIA 2, após uma rota ser recalculada, será feito um novo cálculo de rota considerando o 2º segmento da nova rota intransitável, surgindo assim uma nova rota alternativa. O 2º segmento da nova rota foi escolhido por ser o primeiro ponto de possível divergência entre o melhor caminho calculado e um outro bom caminho para o destino. Acredita-se que a distribuição de veículos desviados entre dois bons caminhos (sendo um deles o melhor caminho) resulte em um melhor resultado para a solução como um todo do que se todos veículos sempre sigam desvio em eventos que encontrem algum segmento congestionado.

A adoção dessa rota será determinada probabilisticamente. Para avaliação, será usada a probabilidade de 50% de adoção da nova rota, que visa distribuir igualmente veículos desviados de um segmento congestionado por 2 caminhos alternativos e não um só. A ideia desta alternativa tem paralelo no problema de Fluxo Máximo em grafos, onde se procura a maior capacidade de fluxo de um nó origem para um nó destino em um grafo. Entretanto, o DESVIA 2 visa apenas aumentar o fluxo de desvio de um segmento congestionado, já que veículos tendo uma rota planejada por determinado segmento não necessariamente compartilham o mesmo destino de viagem.

Para isso o algoritmo foi alterado para que, ao se calcular uma melhor rota, seja realizado um passo adicional para a definição de uma rota alternativa somente caso a chamada para a função de valor uniforme ente 0 e 1, retorne um valor maior do que 0.5.

O pseudo-código original do mecanismo DESVIA seria ligeiramente alterado, conforme abaixo:

---

**Algoritmo 3: Controle de congestionamento DESVIA 2**

---

*Data:* Buffer interno de dados sobre velocidades de segmentos, Rota Planejada Atual

```
1 while veículo em trânsito do
2   if novas informações são armazenadas em buffer then
3     while existir segmento com velocidade alterada do
4       atribui novo tempo de viagem estimada para segmento;
5     end
6     recalcula melhor rota para destino;
7     if melhor rota diferente de rota planejada then
8       if uniforme(0,1)>0.5 then
9         atribui tempo de viagem infinito a 2º segmento da melhor rota;
10        recalcula melhor rota;
11        veículo assume nova rota;
12      else
13        veículo assume nova rota inicialmente calculada;
14      end
15    else
16      rota planejada é mantida;
17    end
18  else
19    end
20 end
```

---

## 5. Avaliação da proposta

As simulações realizadas para a análise de desempenho da solução de detecção e controle de congestionamento proposta nesse trabalho serão apresentadas nesse capítulo, bem como os resultados obtidos a partir dessas simulações. Os cenários sobre os quais a proposta foi avaliada serão detalhadamente descritos, bem como, as variáveis que o influenciaram foram ajustadas como parâmetros para as simulações.

Para isso, serão apresentados detalhes da implementação da solução, incluindo ambiente computacional e *frameworks* de desenvolvimento e de simulação utilizados. Além disso, serão descritos os parâmetros do ambiente de execução e os cenários avaliados.

### 5.1 Visão geral

A avaliação de desempenho de uma proposta serve para atestar o seu funcionamento e compará-lo com trabalhos anteriores. Através da comprovação quantitativa da aplicabilidade de uma solução a um problema de pesquisa, torna-se incontestável o valor científico do trabalho para a literatura em geral.

Nas próximas seções pretende-se, através da análise de dados quantitativos, atribuir credibilidade ao mecanismo proposto. Através da avaliação de uma aplicação implementada em *software* e experimentada em *softwares* de simulação de redes, será possível validar a efetividade da solução e, portanto, sua apresentação como uma alternativa viável de solução para o problema da detecção e controle de congestionamento em redes veiculares.

## 5.2 Ambiente

A ferramenta de simulação de redes utilizada para os experimentos deste trabalho foi o simulador OMNeT++[32], na versão 4.6. O simulador de redes veiculares utilizado nos experimentos foi o VEINS (*Vehicles in Network Simulations*) [33]. O VEINS fornece um modelo de classes que permite à implementação de aplicações de rede veicular se vale de toda a infraestrutura de emulação do ambiente de rede veicular. Utilizando o paradigma de programação orientada à objetos, na linguagem C++, o DESVIA foi implementado como uma classe que herda da classe base de aplicação WAVE do VEINS *BaseWaveAppLayer*. Nesta classe, nomeada *DesviaTestApp*, são implementadas as lógicas de inicialização, lógica de reação a eventos como recebimentos de mensagem, alteração de posição na topologia e também métodos para o processamento da lógica do DESVIA.

Uma aplicação WAVE do VEINS (como é o DESVIA) é notificada da atualização de localização de um veículo através de chamadas de métodos virtuais feitas pelo core do VEINS. Além disso, o DESVIA instancia classes do VEINS que provem interatividade com o SUMO, o qual fornece meios de se obter informações sobre a representação da topologia a ser utilizada na avaliação. Assim, é possível saber em tempo real de simulação todos os dados de rota do veículo, a posição onde o veículo se encontra e mapear esta posição dentro do mapa. Cada veículo executa uma instância de *DesviaTestApp* independente de qualquer outra, o que seria o equivalente a se ter uma *onboard unit* executando o DESVIA localmente.

O cenário de avaliação compreende um mapa criado artificialmente de dimensões 900m x 300m. Este mapa foi criado a partir do mapa inicial de exemplo do *framework* de simulação de redes veiculares Veins[34]. Este mapa foi estendido em sua dimensão e com o acréscimo de edificações, também criadas artificialmente, como o intuito de prover maior realismo ao experimento. Uma vez que essas edificações se tornam barreiras físicas à propagação de sinal e, conseqüentemente, acrescenta condições para perdas de mensagens, de maneira semelhante a um cenário real. O modelo de topologia criado se aproxima de uma topologia de cidade planejada, onde vias são pouco sinuosas e quarteirões tendem a seguir uma padrão de área e formato. Este tipo de topologia se aproxima bastante com o modelo de topologia de Manhattan (cidade de Nova Iorque), onde existem quarteirões majoritariamente retangulares e com alta incidência de obstáculos físicos devido a grande quantidade de edificações.

A Figura5.1 exibe o mapa utilizado na avaliação. O mapa é composto por 10 avenidas latitudinais e 7 avenidas longitudinais. Todas as avenidas são compostas por segmentos

de mão dupla e em faixa única. O total de segmentos do mapa é de 222 com 63 junções (esquinas). Cada via com mão dupla delimitada por 2 junções são compostos por 2 segmentos, 1 em cada sentido.

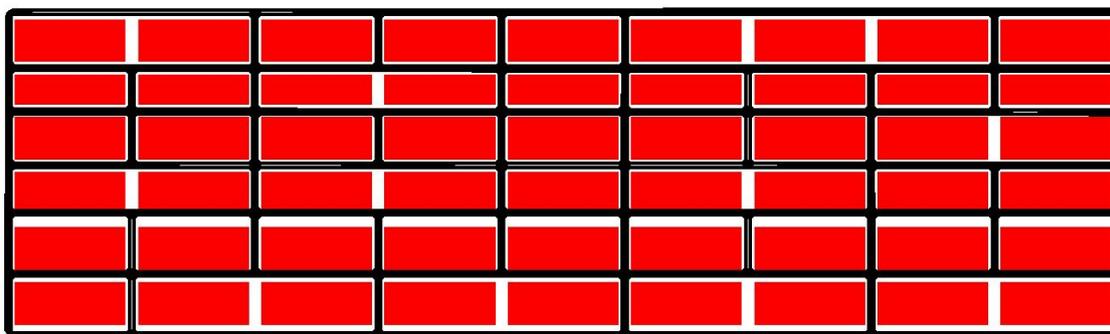


Figura 5.1: Topologia do cenário realístico utilizado na avaliação.

Este mapa foi criado na ferramenta de simulação de SUMO [35], simulador de mobilidade urbana, que oferece modelos de mobilidade com alto grau de realismo para a simulação de tráfego de veículos, pedestres e transporte público. O SUMO é uma ferramenta largamente utilizada na literatura para avaliação simulada de soluções que tenham como cenário um ambiente de tráfego geral dentro de uma região. Assim, ele é muito usado por oferecer funcionalidades de controle microscópico e macroscópico de uma simulação de fluxos de tráfego, além de permitir que através de programação seja possível coletar informações do cenário em tempo real, bem como interferir no mesmo. É possível, por exemplo, obter informações sobre velocidade, localização e rota de veículos, bem como os estágios de semáforos e dados sobre a topologia.

### 5.3 Implementação dos mecanismos utilizados na simulação

Nesta seção serão descritos os detalhes sobre a implementação e funcionamento do mecanismo DESVIA, além dos outros mecanismos utilizados na avaliação de desempenho realizada por meio do simulador ONE.

#### 5.3.1 Rota fixa e sem nenhum controle de congestionamento

Nesse cenário os veículos se mantêm em seu trajeto planejado inicialmente desde o início ao fim de sua participação na simulação. Isso significa dizer que os veículos nesse cenário não tomam nenhuma iniciativa de recálculo de rotas no decorrer da avaliação. Semelhante ao comportamento de um ônibus urbano, que segue sempre o mesmo itinerário, os veículos nesse cenário serão passivos diante de qualquer observação de alteração

de condição de tráfego nos segmentos que estão em sua rota. Com esse cenário, visa-se avaliar uma ausência completa de controle do congestionamento, tomando-o como base para definição de contribuição de um mecanismo de controle de congestionamento para a fluidez de trânsito em uma topologia.

### 5.3.2 Reroteamento do simulador SUMO

O simulador de mobilidade veicular SUMO é capaz de recalculando melhores rotas de veículos em tempo real. Para isso, o SUMO atua como uma solução centralizada de determinação de rotas. O SUMO reatribui os pesos das arestas que representam os segmentos de um mapa à medida em que veículos trafeguem por eles. A cada  $n$  segundos, o SUMO calcula o caminho mais rápido de viagem para cada um dos veículos isoladamente, a partir do segmento onde se encontrem naquele instante até seus respectivos destinos. Além disso, pode-se definir um parâmetro de configuração que representa a probabilidade de um veículo adotar a nova rota recalculada. Isso significa que é possível determinar que nem todos os veículos adotem a nova rota calculada.

Os resultados obtidos pela solução de controle de congestionamento proposta nesse trabalho será comparada com os resultados obtidos pelo reroteamento do SUMO para o mesmo cenário, onde a cada 1 segundo o SUMO recalcula melhores caminhos para os veículos da simulação e utilizando a probabilidade 1 de adoção de nova rota. Assim, pretende-se avaliar o maior impacto possível do mecanismo do SUMO como uma solução de controle de congestionamento.

### 5.3.3 DESVIA

Será avaliado o mecanismo DESVIA proposto neste trabalho. Para este cenário, em toda ocorrência de alteração de condição de tráfego de um segmento que esteja na rota de um veículo, a rota será recalculada.

### 5.3.4 DESVIA Modificado

Será avaliada uma alternativa do mesmo mecanismo DESVIA proposto neste trabalho, com uma alteração para evitar a ocorrência de “re-congestionamento” em segmentos para onde o mecanismo possa redesignar um número grande de veículos. Visa-se evitar que se redirecione indiscriminadamente todos veículos que se encontrem em um segmento congestionado para um mesmo segmento que acabe ficando congestionado por consequência disso. Assim, esta modificação será denominada de DESVIA 2.

Esta variação irá recalculer uma rota adicional considerando que o segundo segmento da rota inicialmente recalculada pelo DESVIA deverá ser evitada. Assim, o fluxo será distribuído probabilisticamente por rotas alternativas, diminuindo assim o risco de ocorrência de um novo congestionamento de veículos em uma nova rota.

#### 5.4 Cenário de avaliação

O cenário de avaliação da proposta utiliza a topologia apresentada na Figura 5.1 e cria cenários de veículos em viagens com origem e destino dentro do mapa. Os tempos de execução de cada rodada é de 10 minutos (600 segundos). Para cada cenário de execução foram mantidos os parâmetros de simulação de rede, descritos na Seção 5.4.1.

##### 5.4.1 Parâmetros de Simulação

A Tabela 5.1 lista os parâmetros de simulação referentes à mobilidade veicular. Nela estão dispostas informação sobre duração do cenários de simulação, dimensões do mapa e as quantidades de veículos por simulação.

Tabela 5.1: Parâmetros de tráfego

Parâmetro	Valor
Duração	600 segundos
Área (m X m)	900 X 300
Capacidade de <i>buffer</i>	Ilimitado
Quantidade de veículos da solução	50, 100, 150
Quantidade de veículos lentos	20
Mobilidade	Vide Seção 5.4.2

A simulação de mobilidade configurada na ferramenta SUMO utilizou 0.1s como o tempo de reavaliação de localização dos veículos na topologia. No período de 0.1s um veículo na velocidade mais alta permitida na topologia, que é de 100Km/h, trafega por menos de 3 metros, que é um valor menor do que uma largura de uma via e, por consequência, do comprimento de uma interseção. Isso permita afirmar que a discretização da avaliação não teve impactos no resultados obtidos.

Na Tabela 5.3 são descritos os perfis dos veículos que participam da simulação de mobilidade veicular para avaliação da proposta. Os veículos da solução tem perfis de veículos de passageiro e são os mesmos para todos os fluxos. Cada um deles é um nó de rede veicular com a aplicação do DESVIA em execução e com o mecanismo do INATIS para disseminação de mensagens. Os veículos considerados lentos foram incluídos no cenário

de avaliação apenas para forçar situações de retenção arbitrárias, para que o mecanismo pudesse ser avaliado mesmo com um número não excessivamente alto de veículos, que resultaria na necessidade de máquinas de alta capacidade de processamento para simulação. Os veículos lentos não possuem a solução implantada e não participam das trocas de mensagens VANET, servindo apenas para geração de retenções intencionais e assim, intensificando ainda mais o tráfego veicular nos cenários das simulações. Para que as retenções artificialmente geradas para todos os cenários de simulação fossem os mesmos, o número de veículos lentos e as rotas seguidas por eles foram não tiveram alterações entre rodadas de experimentos.

Adicionalmente, a Tabela 5.2 apresenta os parâmetros utilizados para simulação do meio físico no *framework* Veins. Estes valores são os propostos por padrão pela implementação do Veins para o protocolo Wave e não foram alterados em nenhuma das execuções para avaliação dessa proposta.

Tabela 5.2: Parâmetros de simulação do meio físico

Parâmetro	Valor
Frequência	5.89 GHz
Bit rate	18Mbps
Sensibilidade	-89dbm
Modelos de atenuação	
Meio Físico	Simple Path Loss Model (Alpha = 2)
Obstáculos	9dbm/borda + 0.4dbm/metro

Tabela 5.3: Parâmetros de veículo

Parâmetro	Passageiro	Lento
Comprimento (m)	4.3	5
Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	1.5	0.8
Velocidade Máxima (km/h)	180	12

#### 5.4.2 Fluxos

No mapa apresentado na Figura 5.1 foram criados artificialmente fluxos utilizando a ferramenta de geração automática de viagens *randomTrips.py*. Para cada um dos valores de quantidades de veículos (50, 100 e 150 veículos) sob avaliação da solução, foram gerados 10 cenários distintos de distribuição de fluxos veiculares.

Esse fluxos previam a entrada dos veículos na simulação a uma taxa de 10 veículos por segundo, com o intuito de diminuir ao máximo o tempo de entre o início da simulação e o pico de veículos em tráfego na topologia. Esse valor foi utilizado para diminuir

eventuais situações de sobreposição e colisão de veículos no mapa que podem acontecer no simulador SUMO em eventos de entrada de veículos em massa na simulação.

Além disso, os fluxos previam uma distância mínima de percurso de 700 metros. Considerando que o cenário de avaliação prevê uma topologia de dimensões 900m x 300m, pode-se afirmar que os veículos da avaliação percorreram grande parte do mapa e, com isso, terão maior probabilidade de encontro e de contribuírem para cenários de congestionamento veicular.

Para criar propositadamente retenções de tráfego veicular para o cenário de avaliação, foram distribuídos veículos lentos, que seguem fluxos que passam pelas vias centrais da topologia. Desta maneira, veículos mais rápidos que sigam pelas mesmas vias terão seu tempo de viagem diretamente impactado pelo tráfego de um veículo lento à sua frente. Considerando que a topologia proposta é de segmentos de mão-dupla, com vias de faixa única, não são previstas ultrapassagens, portanto, o desvio por outras vias a única maneira de se obter ganho de tempo de viagem.

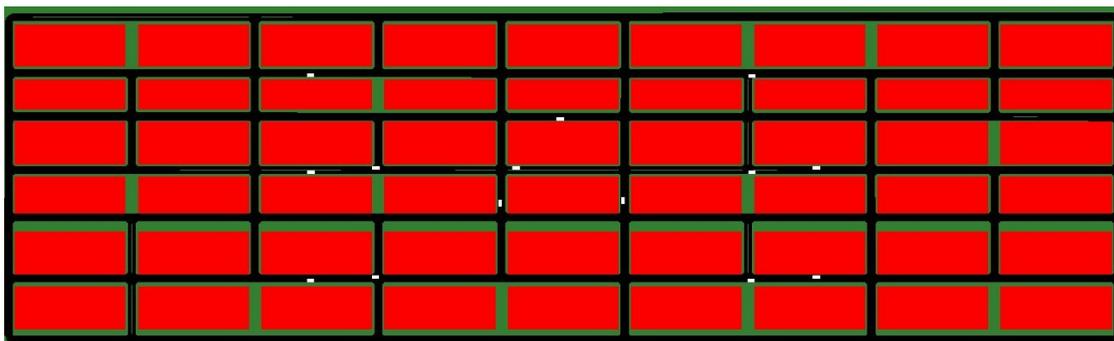


Figura 5.2: Veículos Lentos

## 5.5 Métricas de desempenho

- Tempos de viagem

Considerando que a proposta deste trabalho é uma aplicação que visa melhorar o tráfego veicular de um ambiente urbano, a métrica que diretamente representa este aspecto é o tempo de duração de uma viagem. Uma solução que proporcione menores tempos de viagem aos veículos que a adotem em um determinado cenário pode ser considerada efetiva quanto à melhoria geral das condições de tráfego.

Sendo o DESVIA uma solução distribuída, a avaliação sobre tempos de viagem será realizada considerando os tempos de viagem de todos os veículos que estejam rodando a

aplicação no cenário de avaliação. Apesar de ser possível haver casos específicos onde um veículo tenha um tempo maior de viagem em decorrência de eventos alheios à solução, como por exemplo um cruzamento por onde haja um fluxo de veículos que impeça o progresso do veículo em sua rota, a observação de uma melhoria geral do tempo de viagem de todos os veículos no cenário de simulação pode ser considerado como efetivo.

- Distância percorrida

Esta métrica será utilizada para avaliar o impacto da solução de controle de congestionamento na distância que os veículos que se sujeitaram a recálculo de suas rotas.

Apesar de ser esperado que uma solução de controle de congestionamento, em geral, aumente a distância percorrida a um destino com a contrapartida de se chegar até ele em um tempo menor, é relevante avaliar a dimensão deste aumento.

- Emissão de poluentes

Através dessa métrica, pretende-se avaliar o impacto ambiental de se ter uma melhoria na condição geral de tráfego de uma cidade.

Com a diminuição da incidência de congestionamentos em um ambiente urbano, espera-se uma diminuição no tempo de operação dos motores à combustão e, por consequência, menor despejo da fumaça do escapamento.

A estimativa de emissão de poluentes é realizada através da ferramenta SUMO, que simula as emissões de poluentes através da implementação de um modelo baseado no *Handbook Emission Factors for Road Transport* (HBEFA) [36]. O HBEFA sugere fatores de emissão para veículos de todas as categorias em diferentes situações.

- Consumo de combustível

Mede o consumo de combustível estimado para cada um dos veículos da simulação. Um ambiente com tráfego mais fluido aumenta a velocidade média dos veículos em trânsito e diminui a ocorrência de aceleração e frenagem de veículos. Estes dois fatores, além da operação dos motores dos veículos, impactam diretamente no consumo de combustível dos veículos sob avaliação

Um menor consumo geral de combustível em uma cidade traz benefícios sociais diretos, uma vez que a economia decorrente dele pode ser utilizado em fins que gerem maior renda local e melhor qualidade de vida para os cidadãos em geral.

Apesar de consumo de combustível e emissão de poluentes serem métricas proporcionais, elas afetam aspectos distintos de uma cidade. Enquanto o aumento do consumo de combustível afeta diretamente a economia da cidade, uma vez que uma maior parte da renda de seus cidadãos seria destinada a transporte, a emissão de poluentes impacta questões relacionadas à saúde pública. Por isso é interessante que se apresente resultados em ambas as métricas para este estudo, assim como o é feito para outros estudos do mesmo tema na literatura.

Assim como a estimativa de emissão de poluentes, a estimativa de consumo de combustível também é realizada através da ferramenta SUMO com base no *Handbook Emission Factors for Road Transport* (HBEFA) [36].

- Níveis de congestionamento observados

Essa métrica será utilizada para avaliar os níveis de congestionamento observados durante a simulação pelos próprios veículos. Serão coletadas as informações sobre classificações de condições de tráfego observadas por todos os veículos da simulação para cada um dos cenários avaliados.

Desta maneira, pretende-se atribuir a cada segmento da topologia avaliada um nível geral de percepção da condição de tráfego a partir das classificações de tráfego a ele atribuídas pelos veículos da simulação. Quanto menor for a incidência de classificações de condições de tráfego negativas (lento ou congestionado) melhor será a solução avaliada.

Essa métrica será coletada a partir das notificações dos veículos da simulação que declarem estar em um segmento com condição de tráfego ruim.

## 5.6 Resultados

As seções a seguir apresentam os resultados obtidos a partir da experimentação do mecanismo DESVIA nos cenários descritos na Seção 5.4. A efetividade da solução é atestada diante de diferentes aspectos de avaliação, discriminados em análises sobre os dados quantitativos observados.

### 5.6.1 Análise de detecções de congestionamento

Para a análise das situações de detecção de congestionamento, serão avaliadas as alterações de condições de tráfego percebidas pelos veículos da simulação. Para cada um

dos mecanismos avaliados, foram coletadas as informações de cada uma das variações de quantidades de veículos. Para os cenários mais esparsos e menos eficientes na solução de situações de congestionamento são esperados menos eventos de classificação de condição de tráfego que caracterizem retenções de tráfego nos segmentos avaliados.

- Percepção Geral de Condição de Tráfego

Para avaliar a percepção geral da condição de tráfego do cenário, utilizamos as quantidades de notificações que os próprios veículos do cenário emitiram em seu trajeto, avisando que um segmento estaria em condição “não-livre”, ou seja, qualquer notificação de condição de tráfego em um segmento que fosse “Intenso”, “Lento” ou “Congestionado” foi contabilizada. Desta maneira é possível inferir por quantas vezes veículos se sujeitaram a algum tipo de retenção de tráfego.

As Figuras 5.3 , 5.4 e 5.5 apresentam a quantidade de notificações de cada uma das classificações de tráfego correspondentes para cada um cenário de quantidades de veículos e por cenário de mecanismo de controle de congestionamento. Essas notificações foram coletadas a partir dos registros de execução de cada um dos veículos.

Como todos os veículos, ao iniciarem seu trajeto, têm apenas as informações do mapa original, com as velocidades máximas sendo as velocidades estimadas de viagem para cada segmento, todos os segmentos são classificados inicialmente como tráfego Livre. Por isso é esperado que as classificações de condição de tráfego sejam mais comumente reportadas quanto melhor for a condição de tráfego. Por esse motivo, podemos compreender porque temos números maiores de notificações de segmentos classificados como Intenso, em seguida Lento e, com os menores números, Congestionado.

Através dos números observados, pode-se concluir que os cenários de avaliação que utilizaram os mecanismos de controle de congestionamento DESVIA e DESVIA 2 proporcionaram menor percepção geral de tráfego congestionados se comparados ao cenário sem controle de congestionamento, tendo em vista que, para todas as classificações de condição de tráfego que indicam algum nível de retenção de tráfego, houve menos notificações para estes mecanismos se considerada a proporção para a quantidade de segmentos percorridos, conforme apresentado pelas Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.

Se comparados ao mecanismo de controle de congestionamento do SUMO os mecanismos DESVIA e DESVIA 2 performam de maneira semelhante, mesmo tendo uma solução V2V.

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela

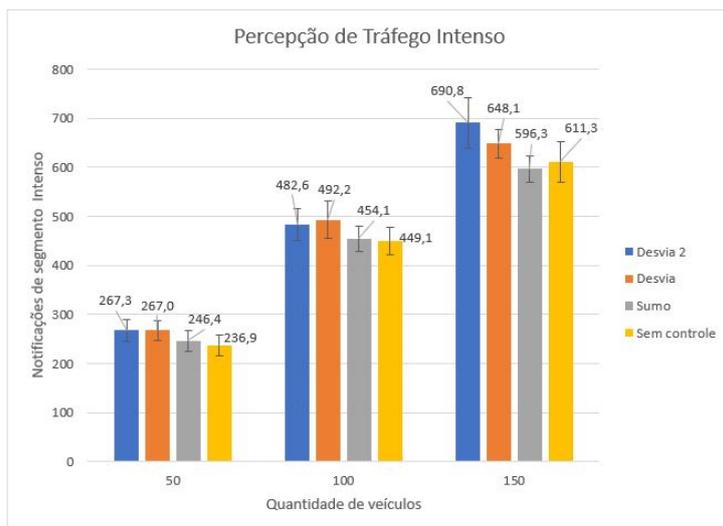


Figura 5.3: Percepção de Tráfego Intenso

abaixo:

Tabela 5.4: Desvio Padrão para Percepção de Tráfego Intenso

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	20,47464557	21,44864668	20,48847915	22,54895908
100	27,21417115	25,65779067	37,93210308	32,66394546
150	41,42865353	26,35020557	29,15809398	51,54313188

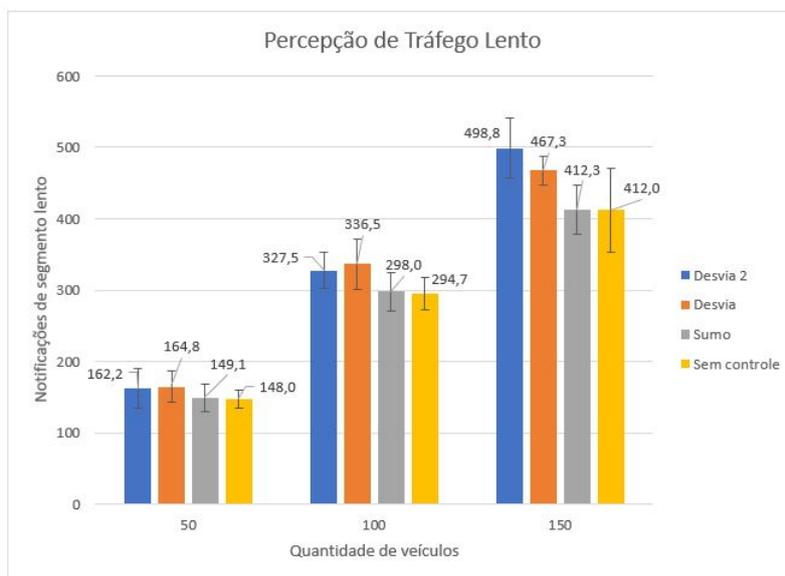


Figura 5.4: Percepção de Tráfego Lento

Tabela 5.5: Desvio Padrão para Percepção de Tráfego Lento

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	12,71918935	18,66339257	21,66307663	27,38531642
100	22,49444376	26,71661988	34,86880172	24,92767315
150	58,19793811	33,95585369	19,6497102	41,64065855

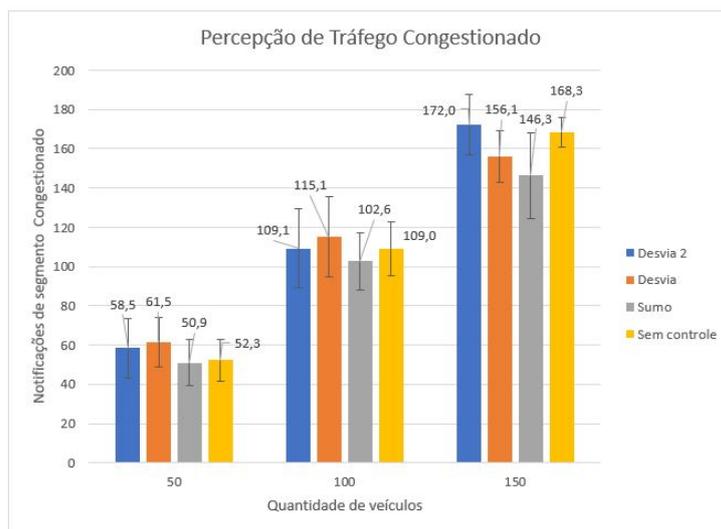


Figura 5.5: Percepção de Tráfego Congestionado

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.6: Desvio Padrão para Percepção de Tráfego congestionado

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	10,56251233	11,70422526	12,78236633	15,00555453
100	13,84738242	14,40061727	20,22896713	20,14089262
150	7,371114796	21,73323108	13,04585928	15,3785565

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

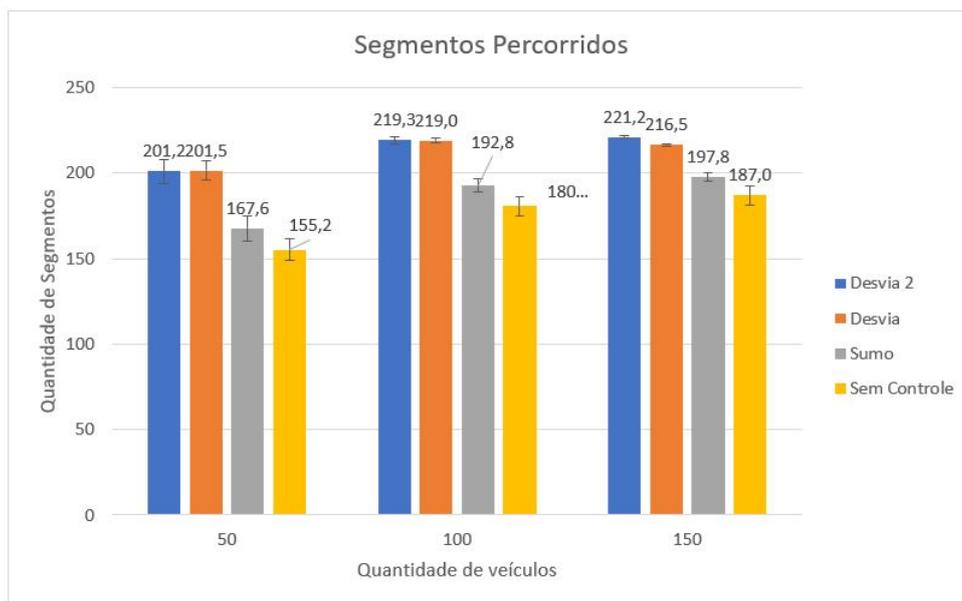


Figura 5.6: Segmentos Percorridos

Tabela 5.7: Desvio Padrão para Segmentos Percorridos

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	6,321040702	7,306009703	5,400617249	7,036413228
100	5,830951895	3,614784456	1,56347192	2,002775851
150	5,567764363	2,516611478	0,707106781	0,666666667

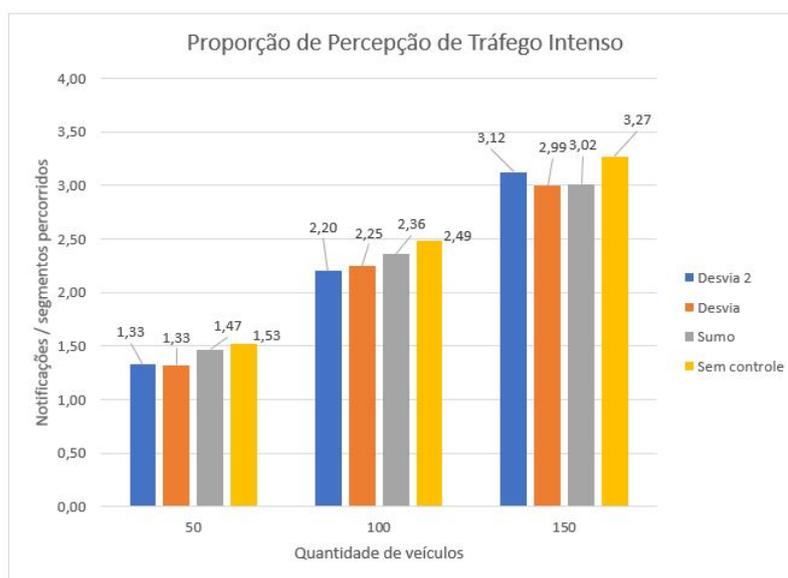


Figura 5.7: Proporção da Percepção de Tráfego Intenso / Segmentos Percorridos

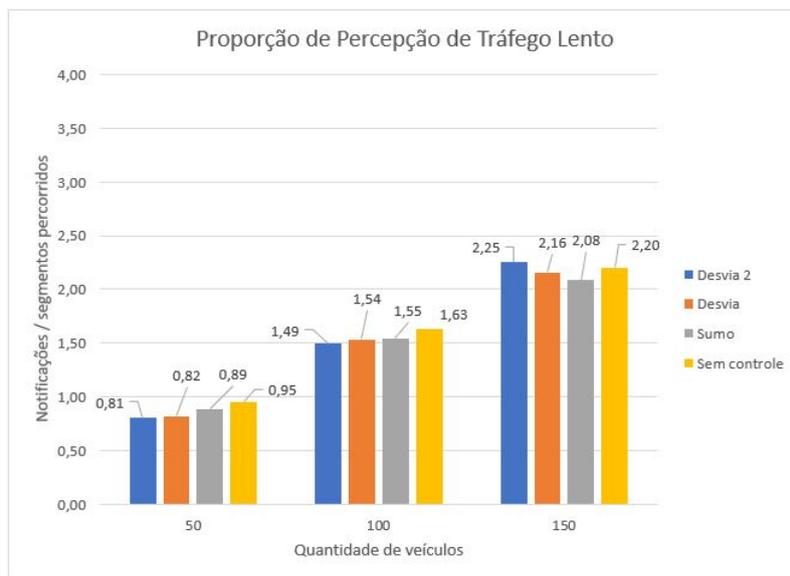


Figura 5.8: Proporção da Percepção de Tráfego Lento / Segmentos Percorridos

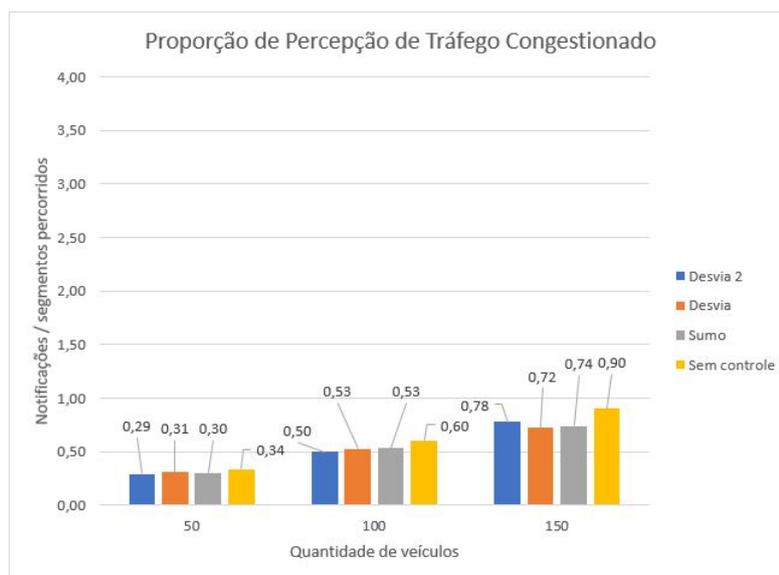


Figura 5.9: Proporção da Percepção de Tráfego Congestionado / Segmentos Percorridos

- Veículos Passando por Tráfegos Não Livres

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.10, 5.11 e 5.12 demonstram as quantidades de veículos que passaram ao menos uma vez por uma via com determinada classificação de tráfego que caracterizasse algum tipo de retenção. Os dados demonstram que quase a totalidade dos veículos dos cenários de avaliação, independentemente do mecanismo de controle de congestionamento, passaram por segmentos congestionados. Essas métricas são relevantes pois indicam a experiência enfrentada por cada um dos condutores. Um veículo que trafegue por mais segmentos congestionados terá a percepção de que seu trajeto

foi mais custoso e cansativo.

Pôde-se observar que o mecanismo de controle de congestionamento do SUMO, apesar de ser uma solução centralizada e fornecer a um veículo informações sobre segmentos antes mesmo de uma mensagem disseminada sobre este chegue até àquele, não apresentou ganho representativo na prevenção de congestionamento. Os mecanismos DESVIA e DESVIA 2 são mecanismos reativos, portanto, qualquer tipo de desvio de rota de um veículo com o fim de evitar passar por um segmento com retenção, acontece apenas depois deste segmento ter sido classificado com algum nível de retenção e as mensagens referentes a essa classificação cheguem até o veículo.

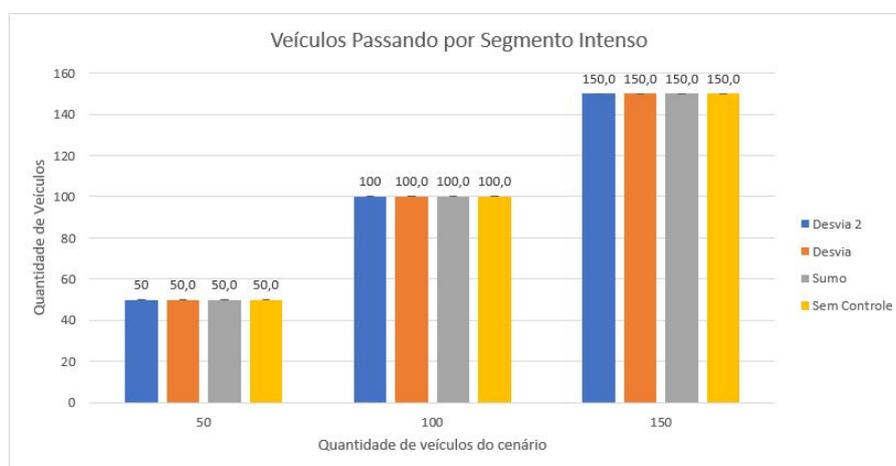


Figura 5.10: Veículos transitando em tráfego intenso

Como em todas os cenários os veículos passaram ao menos por um segmento classificado como intenso, o desvio padrão é zero.

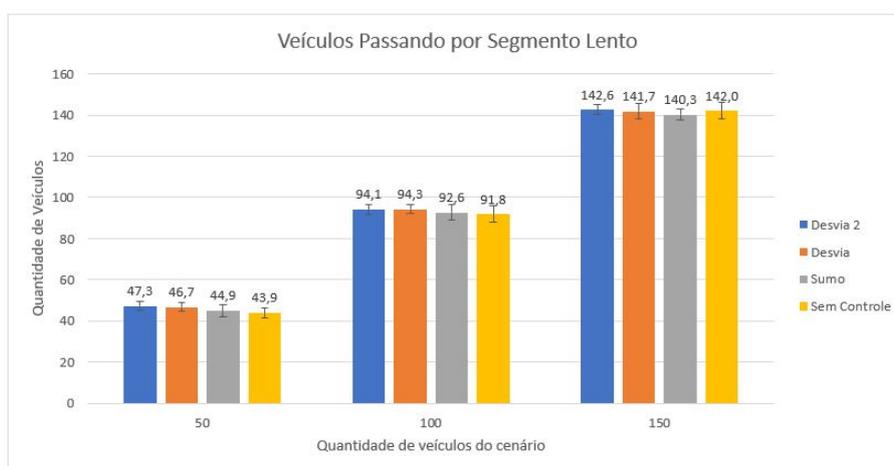


Figura 5.11: Veículos transitando em tráfego lento

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela

abaixo:

Tabela 5.8: Desvio Padrão para Veículos Passando por Tráfego Lento

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	2,514402955	2,806737925	2,110818693	1,946506843
100	3,961621441	3,806427313	2,057506582	2,233582076
150	4	2,645751311	3,734226084	2,505549396

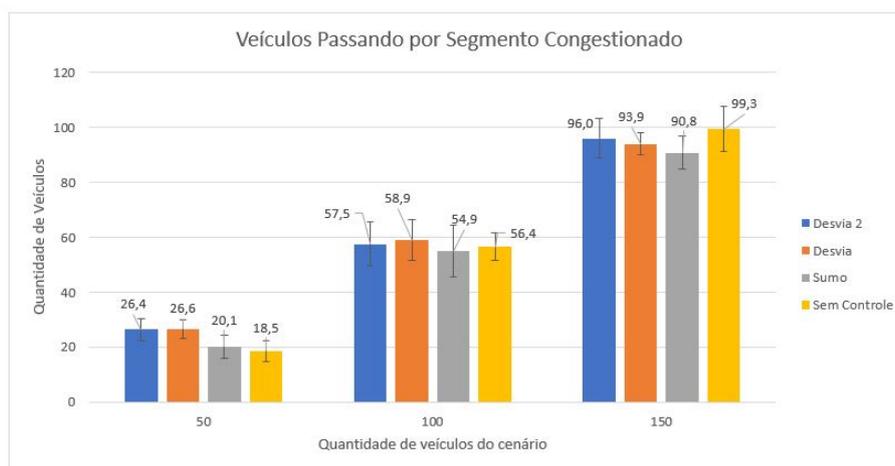


Figura 5.12: Veículos transitando em tráfego congestionado

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.9: Desvio Padrão para Veículos Passando por Tráfego Congestionado

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	3,689323937	4,357624225	3,373096171	4,087922591
100	5,002777007	9,445163371	7,29459465	7,961713942
150	8,326663998	6,110100927	4,096068576	7,280109889

- Segmentos Classificados Como Congestionados

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 fornecem informações sobre os números de segmentos que tenham sido classificados com algum tipo de retenção, i.e., tiveram em algum momento da simulação uma classificação de condição de tráfego como Intenso, Lento ou Congestionado. Uma topologia com tráfego mais congestionado deve apresentar um número maior de segmentos classificados como congestionados durante a execução do experimento. Entretanto, em um cenário onde veículos desviem menos suas rotas planejadas inicialmente e por isso, transitem por menos segmentos da topologia,

podem indicar um falso positivo. Um exemplo disso é o próprio cenário sem controle de congestionamento, que apresentou números menores de segmentos com retenção, mesmo tendo tempos de viagem piores que os de outras soluções.

Nos gráficos citados acima podemos observar que os cenários de avaliação com ausência de controle de congestionamento (marcados com a legenda "Sem Controle") apresentam valores menores de segmentos classificados com uma condição de tráfego com algum nível de retenção. Isso se deve ao fato de neste cenário os veículos de mesmo fluxo seguem sempre pelos mesmos segmentos, não importando a condição de tráfego observada. O tráfego acaba ficando mais concentrado nas mesmas vias e isso acaba ocasionando piores condições de tráfego.

Os cenários DESVIA e DESVIA 2 apresentam números maiores de segmentos classificados como congestionados, e isso pode ser atribuído ao fato de se ter veículos trafegando de maneira mais dispersa pela topologia. A Figura 5.6 apresenta o número de segmentos da topologia por onde ao menos um veículo trafegou durante a simulação. Isso comprova que os mecanismos DESVIA e DESVIA 2 de fato se utilizam de maior parte da topologia e conseguem ter melhores tempos de viagem com isso. Veículos destes cenários sempre tentam buscar por melhores rotas quando se deparam com informações sobre retenções adiante em sua rota planejada. Isso pode acarretar situações de retenções de tráfego em outros trechos do mapa. Entretanto, podemos também analisar que essa métrica não necessariamente indica uma piora geral no panorama de mobilidade veicular na topologia, uma vez que o espalhamento de veículos em diferentes vias podem resultar em uma melhoria dos tempos de viagem dos veículos na simulação. Isso é observado mais adiante neste trabalho na análise dos gráficos da Figura 5.16.

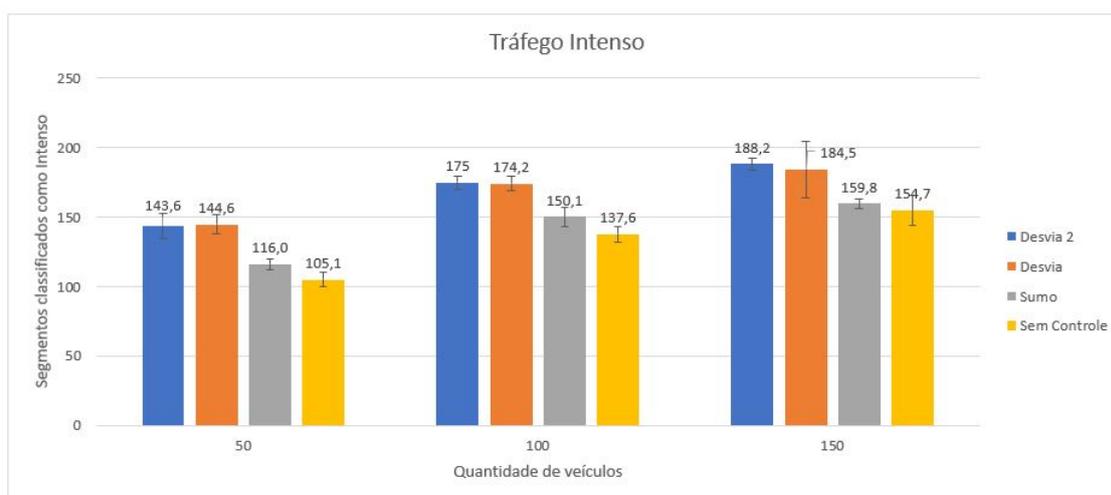


Figura 5.13: Segmentos classificados com tráfego intenso

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.10: Desvio Padrão para Segmentos Classificados como Intensos

<b>Veículos</b>	<b>Sem Controle</b>	<b>Sumo</b>	<b>DESVIA</b>	<b>DESVIA 2</b>
50	4,817791103	4,136557882	7,058485831	8,909420732
100	5,456901848	6,707375708	5,349974039	4,760952286
150	10,59874206	3,511884584	20,22896713	4,521553322

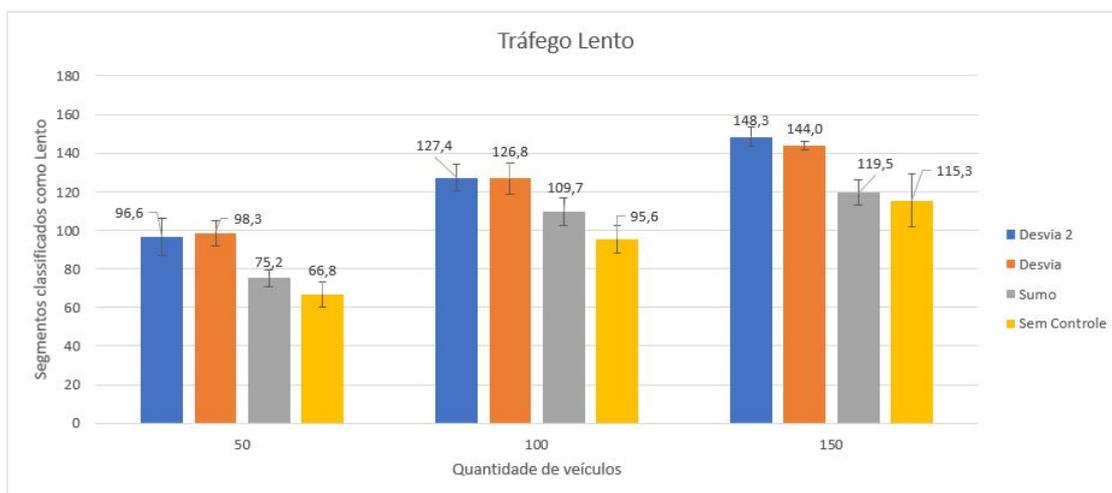


Figura 5.14: Segmentos classificados com tráfego lento

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.11: Desvio Padrão para Segmentos Classificados como Lentos

<b>Veículos</b>	<b>Sem Controle</b>	<b>Sumo</b>	<b>DESVIA</b>	<b>DESVIA 2</b>
50	6,6633325	4,565571645	6,700746227	9,731963374
100	7,178285156	7,30372812	8,052604824	6,769211344
150	13,65039682	6,506407099	2	4,949747468

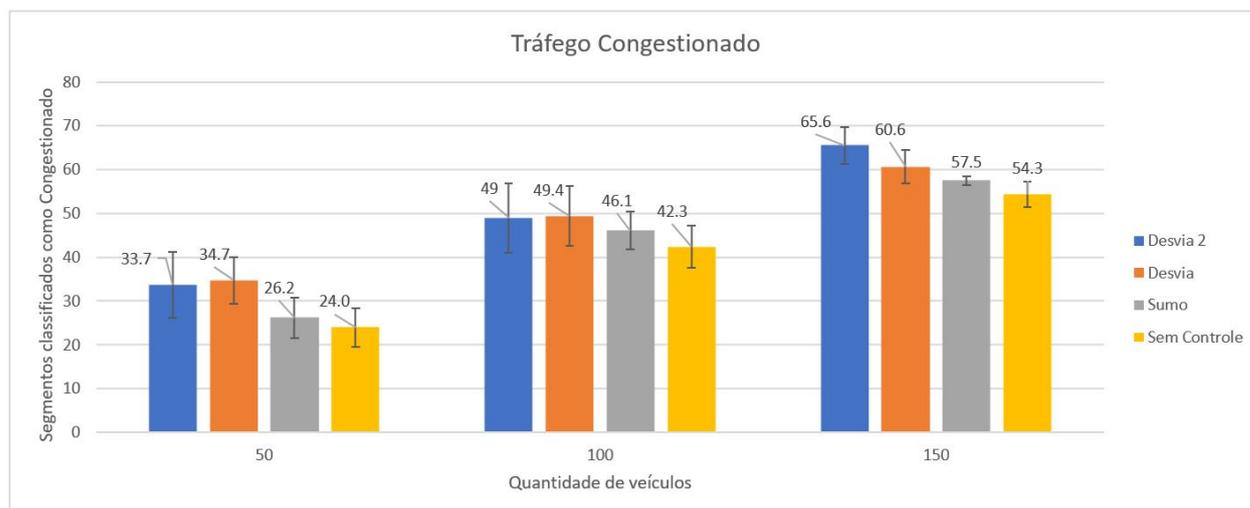


Figura 5.15: Segmentos classificados com tráfego congestionado

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.12: Desvio Padrão para Segmentos Classificados como Congestionados

<b>Veículos</b>	<b>Sem Controle</b>	<b>Sumo</b>	<b>DESVIA</b>	<b>DESVIA 2</b>
50	4,396968653	4,613988393	5,334374898	7,484057129
100	4,847679857	4,228212125	6,834552737	7,916228058
150	2,886751346	1	3,807886553	4,216370214

### 5.6.2 Análise de tempos de viagem

O principal benefício de uma solução de controle de congestionamento é a diminuição geral dos tempos de viagem observados em um cenário de fluxos de tráfego veicular. Nesta análise será validada a média de tempos de viagem aferido para os veículos de passageiro possuindo a solução DESVIA em execução.

O gráfico apresentado na Figura 5.16 demonstra os tempos médios de viagem observados para os veículos de todos os cenários de execução classificados por mecanismos de controle de congestionamento. Pode-se observar que os mecanismos de controle de congestionamento DESVIA têm ganho de desempenho se comparados ao mecanismo de controle de congestionamento do SUMO e ao cenário sem controle de congestionamento.

Adicionalmente, o mecanismo DESVIA 2, onde os veículos são probabilisticamente redirecionados por uma nova rota alternativa, não apresentou ganho para os cenários de avaliação de desempenho deste trabalho. Isso pode ser interpretado como um indicador de que os veículos que têm sua rota redefinida pelo mecanismo DESVIA padrão não oca-

sonariam novos congestionamentos logo ao início da nova rota determinada nos cenários testados.

Outra descoberta relevante que se pode fazer partindo do gráfico da Figura 5.16 é a indicação de que quanto maior foi o número de veículos transitando no cenário de avaliação, maior foi o ganho no tempo de viagem médio observado. Isso pode ser atribuído ao fato de que a redefinição de rotas realizadas por mecanismos de controle de congestionamento reativos, como são o DESVIA e o DESVIA 2, acaba sendo mais efetiva à medida em que a proporção entre veículos retidos em uma condição de tráfego ruim e veículos desviados em decorrência dessa retenção seja menor, que é exatamente o que acontece quando o número de veículos de uma simulação aumenta.

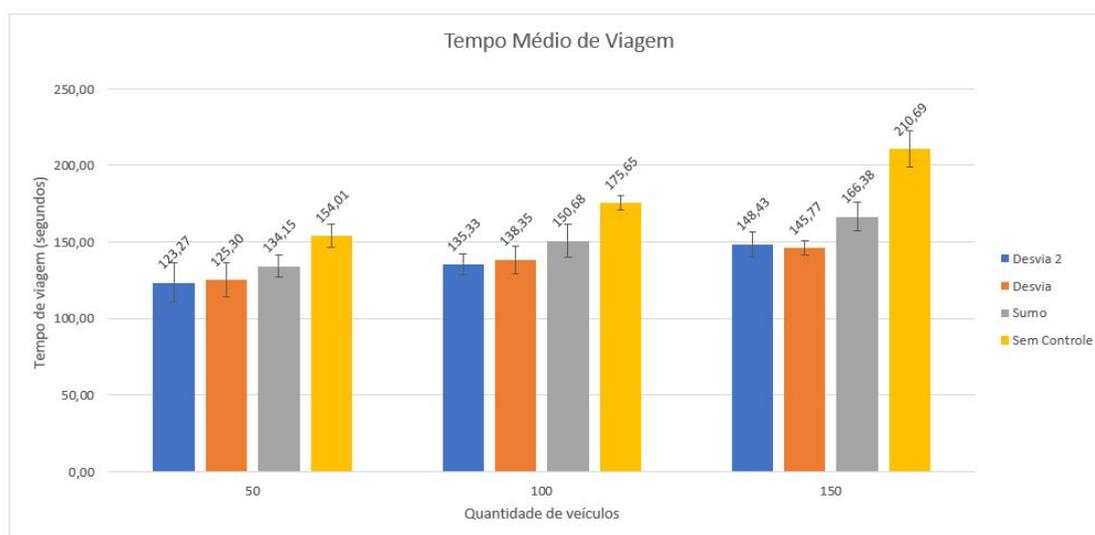


Figura 5.16: Tempos médios de viagens

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.13: Desvio Padrão para Tempos de Viagem

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	7,754720269	7,400617947	11,30496072	13,07595962
100	4,699959136	11,06809944	8,850449561	6,567746765
150	11,62619788	9,195822245	4,67674945	8,23604707

### 5.6.3 Análise de impacto econômico e ambiental

Para a análise de impacto econômico e ambiental serão repassados os dados observados referentes a emissão de poluentes, consumo de combustível e distâncias percorridas.

Um solução de controle de congestionamento deve proporcionar melhores tempos de viagem aos veículos trafegando dentro de uma topologia sem onerar significativamente as distâncias percorridas para chegarem ao seu destino. Adicionalmente, é esperado de um cenário que tenha veículos trafegando por menos tempo dentro de uma cidade, com menor recorrência de eventos de aceleração e frenagem causem menor impacto ambiental devido a menos emissão de gases poluentes.

Através dos dados apresentados nos gráficos da Figura 5.17 pode-se avaliar as distâncias médias percorridas pelos veículos nas diferentes simulações. É observado que os veículos que não tinham mecanismos de controle de congestionamento em execução (indicados pela legenda “Sem Controle”) apresentam os menores valores médios para distância percorrida pelos veículos. Isso pode ser atribuído ao fato de que estes veículos não alteraram o seu trajeto inicialmente planejado para sua viagem. Eventuais desvios de uma rota inicialmente planejada normalmente acarretam em maiores distâncias percorridas, que tendem a ser compensadas por um tempo menor de viagem. A exemplo disso, podemos analisar as distâncias médias pelos veículos dos cenários dos mecanismos de controle de congestionamento DESVIA e DESVIA 2. Esses mecanismos proporcionaram melhores tempos de viagem, conforme verificado na Figura 5.16, mas ao custo de uma maior distância percorrida por estes veículos.

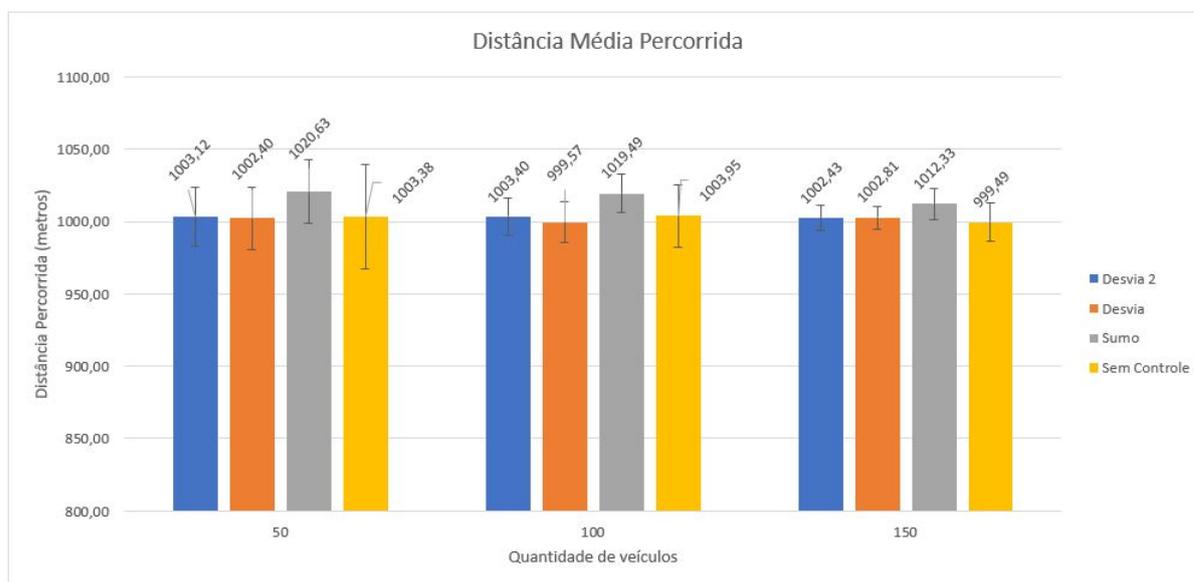


Figura 5.17: Distância Média Percorrida

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Pode-se observar a tendência ao aumento proporcional das diferenças entre as distâncias médias percorridas pelos veículos executando os mecanismos DESVIA e pelos

Tabela 5.14: Desvio Padrão para Distância Percorrida

Veículos	Sem Controle	Sumo	DESVIA	DESVIA 2
50	21,45144862	21,89342141	21,58316619	20,45320312
100	13,4544347	12,96414004	13,98117061	13,19238054
150	7,003603425	10,72713295	7,763619839	8,867246788

veículos sem mecanismo de controle de congestionamento à medida que a quantidade de veículos dos cenários aumenta. Isso pode ser relacionado ao fato de que a maior quantidade de veículos em um cenário implica em um maior número de redefinições de rotas, considerando que o cenário tende a apresentar maiores casos de segmentos com retenção e veículos trafegando por eles.

Entretanto as diferenças das distâncias médias percorridas entre os veículos dos cenários dos mecanismos DESVIA e DESVIA 2 e os veículos dos cenários sem controle de congestionamento estão na casa de 1% a 2% e por isso não pode ser considerado um custo relevante se comparado ao benefício de tempos de viagem em torno de 30% menores.

As Figuras 5.18 e 5.19 apresentam dados referentes às estimativas de emissão de poluentes e de consumo de combustível para cada um dos cenários de avaliação de desempenho. Os valores observados indicam que os mecanismos de controle de congestionamento DESVIA e DESVIA 2 acarretam diminuição na emissão de poluentes e de consumo de combustível à medida em que se aumenta o número de veículos de simulação e, por consequência, a ocorrência de congestionamentos.

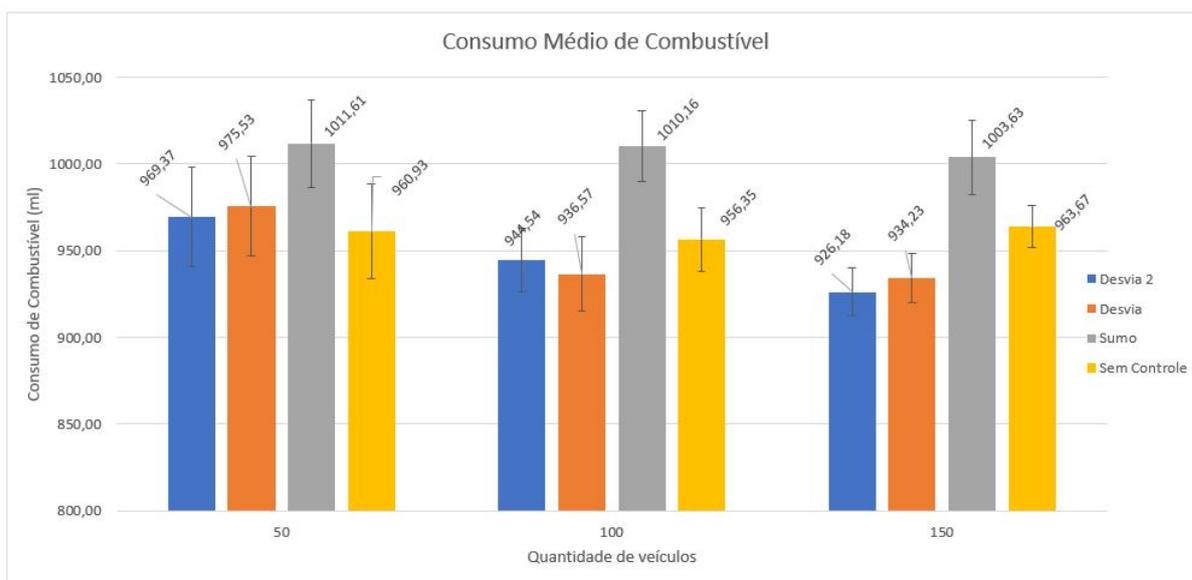


Figura 5.18: Consumo médio de combustível

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela

abaixo:

Tabela 5.15: Desvio Padrão para Consumo de Combustível

<b>Veículos</b>	<b>Sem Controle</b>	<b>Sumo</b>	<b>DESVIA</b>	<b>DESVIA 2</b>
50	27,22918142	25,00020514	28,53460152	28,7921961
100	18,18575835	20,69295388	21,68425497	18,09812085
150	12,10932646	21,40892027	14,27587289	13,644617

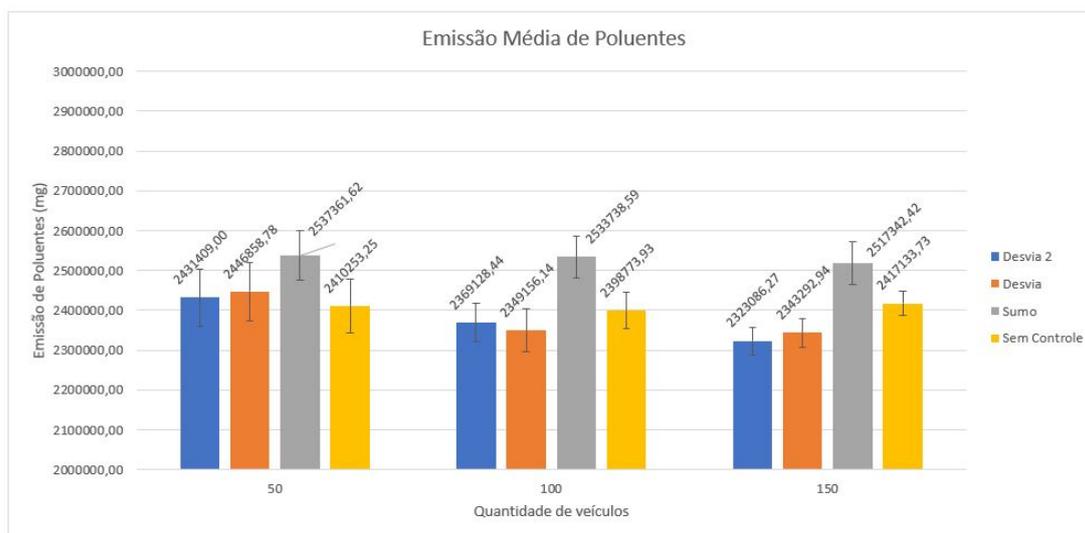


Figura 5.19: Média de Emissão de poluentes

Os valores de desvio padrão para cada uma das médias são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5.16: Desvio Padrão para Emissão de Poluentes

<b>Veículos</b>	<b>Sem Controle</b>	<b>Sumo</b>	<b>DESVIA</b>	<b>DESVIA 2</b>
50	68296,93145	62706,81741	72218,27278	71571,69355
100	45614,27305	51903,64187	54389,64608	47892,81875
150	30373,25131	53698,71078	35807,52062	34224,0824

## 6. Conclusão e trabalhos futuros

Através da análise dos dados obtidos através dos experimentos executados através das simulações de redes veiculares, pode-se concluir que o mecanismo DESVIA alcançou os objetivos esperados. Foi possível criar um mecanismo totalmente distribuídos e V2V que permitam controle de congestionamento.

O DESVIA e o DESVIA 2 são capazes de proporcionar melhorias às condições de tráfego de um ambiente urbano. Foram observadas melhorias nos tempos de viagem médios dos veículos em simulação aproximadamente 30% menores que veículos sujeitos ao mesmo cenário mas sem nenhum tipo de solução de controle de congestionamento e 15% da solução de controle de congestionamento do SUMO, que pode ser considerada uma solução infraestruturada. Isso a um custo desprezível da adição de até 2% em média da distância percorrida pelos veículos. Adicionalmente, pôde-se verificar que o mecanismo DESVIA e sua alternativa DESVIA 2 proporcionaram menor consumo de combustível e impacto no meio ambiente a medida em que os cenário de avaliação se tornam mais densos.

Apesar de ter sido realizada uma avaliação sobre um cenário artificial, com gerações intencionais de retenção, pode-se dizer que a solução proposta nesse trabalho é uma alternativa viável, de baixo custo e eficiente para cenários de controle de congestionamento em ambientes urbanos de maneira não infraestruturada. Em situações de alta concentração de veículos em um mesmo segmento acarretando em congestionamentos (o que é simulado pelas retenções artificialmente geradas), o mecanismo pode prover soluções alternativas de rota rapidamente e eficientemente sem que uma entidade central precise intervir em algum nível.

Na comparação entre DESVIA e DESVIA 2, pouco pode se afirmar já que ambos performaram de maneira semelhante, com leve vantagem para o DESVIA 2, já que proporcionou melhores tempos de viagens em uma quantidade maior de cenários.

Como trabalhos futuros, pode-se avaliar o mecanismo proposto sobre diferentes estratégias de disseminação de mensagem, a fim de avaliar o impacto de cada uma delas no resultado final na solução de controle de congestionamento. A taxa de perda de mensagens em decorrência de situações de alta concentração de veículos é uma métrica que pode ser avaliada para eventual proposição de otimização de utilização do meio físico para essas situações.

Sobre a avaliação de condições de tráfego, propõe-se avaliar a evolução das classificações de condição de tráfego de cada um dos segmentos em função do tempo. As informações decorrentes dessa análise poderiam servir como novas variáveis no processo de tomada de decisão dos veículos para escolha de novos melhores caminhos.

A execução de simulações com cenários de mobilidade mais densos também poderiam trazer novas descobertas, à medida em que acarretam cenários de retenção veicular mais frequentes e, por consequência, criam terreno fértil para decisões sobre redefinições de rotas e também sobre estratégias de otimização de disseminação de mensagem. Sugere-se ainda a avaliação de cenários de topologia mais complexos, onde houvesse tratamento de múltiplas faixas de mesmo sentido e com diferentes larguras de faixa, o que daria a um segmento uma representação mais complexa.

Adicionalmente, a execução dessa solução em topologia de cidades reais com *traces* de mobilidades realísticos podem prover maior assertividade e credibilidade à solução proposta.

## Referências Bibliográficas

- [1] “Conceito de cidades inteligentes.” <http://dicasdearquitetura.com.br/cidade-inteligente-do-brasil/>. Acessado em 02/10/2017.
- [2] B. Guedes, “Um esquema de agregação de dados para sistemas de informação de tráfego urbano usando redes ad hoc veiculares,” *Dissertação de Mestrado - UNIRIO*, Setembro 2014.
- [3] N. Lu, N. Cheng, N. Zhang, X. Shen, and J. W. Mark, “Connected vehicles: Solutions and challenges,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 289–299, 2014.
- [4] Li, Li and Wen, Ding and Yao, Danya, “A survey of traffic control with vehicular communications,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, pp. 3–15, Feb 2014.
- [5] R. Musulin, “Thailand floods event recap report,” 2012.
- [6] P. Liu and Z. Peng, “China’s smart city pilots: A progress report,” *Computer*, vol. 47, no. 10, pp. 72–81, 2014.
- [7] E. Khorov, A. Lyakhov, A. Krotov, and A. Guschin, “A survey on ieee 802.11ah: An enabling networking technology for smart cities,” *Computer Communications*, vol. 58, pp. 53 – 69, 2015.
- [8] C. Benevolo, R. P. Dameri, and B. D’Auria, *Smart Mobility in Smart City*, pp. 13–28. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [9] M. Cintra, “Os custos dos congestionamentos na cidade de São Paulo,” *FGV SAO PAULO SCHOOL OF ECONOMICS*, 2014.
- [10] W. Chen, R. K. Guha, T. J. Kwon, J. Lee, and Y.-Y. Hsu, “A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad hoc networks,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 11, no. 7, pp. 787–795, 2011.

- [11] R. H. and B. H., “Sotis: A self-organizing traffic information system based on car-2-car communications,” *Workshop on Self-Organising Wireless Sensor and Communication Networks*, pp. 2442–2446, October 2009.
- [12] Y. B., X. C., and G. M., “Adaptive forwarding delay control for vanet data aggregation,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 23, pp. 11–18, January 2012.
- [13] R. Bauza and J. Gozalvez, “Traffic congestion detection in large-scale scenarios using vehicle-to-vehicle communications,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, no. 5, pp. 1295 – 1307, 2013.
- [14] G. B. Araújo, M. M. Queiroz, F. de LP Duarte-Figueiredo, A. I. Tostes, and A. A. Loureiro, “Cartim: A proposal toward identification and minimization of vehicular traffic congestion for vanet,” in *Computers and Communication (ISCC), 2014 IEEE Symposium on*, pp. 1–6, IEEE, 2014.
- [15] N. R. C. U. Transportation and R. Board, *Highway Capacity Manual – HCM 2000*. National Research Council, 2000.
- [16] “Major highway performance ratings and bottleneck inventory, state of maryland,” November 2009.
- [17] “Google maps.” <https://www.google.com.br/maps/@-22.9323554,-43.3355723,15z/data=!5m1!1e1?hl=pt-BR>. Acessado em 07/01/2018.
- [18] M. B. Younes and A. Boukerche, “Efficient traffic congestion detection protocol for next generation vanets,” in *Communications (ICC), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 3764–3768, IEEE, 2013.
- [19] E. D’Andrea and F. Marcelloni, “Detection of traffic congestion and incidents from GPS trace analysis,” *Expert Systems with Applications*, vol. 73, no. Supplement C, pp. 43 – 56, 2017.
- [20] Little, J., “The synchronization of traffic signals by mixed-integer linear programming,” vol. 14, pp. 568–594, August 1966.
- [21] Papageorgiou M., Diakaki C., Dinopoulou V. , Kotsialos A., and Wang Y., “Review of road traffic control strategies,” vol. 91, pp. 2043–2067, December 2003.

- [22] Sims, A. G. and Dobinson, K.W., “The sydney coordinated adaptive traffic (scat) system—philosophy and benefits,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, pp. 130–137, April 1980.
- [23] Hunt, P. B. and Robertson, D. I. and Bretherton, R. D. and Royle, M. C., “The scoot on-line traffic signal optimisation technique,” *Traffic Eng. Control*, vol. 23, pp. 190–199, April 1982.
- [24] Mirchandani, P. and Wang, F.-Y., “Rhodes to intelligent transportation systems,” *IEEE Intelligent Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 10–15, 2005.
- [25] Mirchandani, P. and Gaur, A., “Method for real-time recognition of vehicle platoons,” *Transp. Res. Rec.*, no. 1748, pp. 8–17, 2002.
- [26] Tsugawa, S., “Inter-vehicle communications and their applications to intelligent vehicles: An overview,” *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, pp. 564–569, 2002.
- [27] Li, L. and Wang, F.-Y. , “Cooperative driving at blind crossings using inter-vehicle communication,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 55, pp. 1712–1724, November 2016.
- [28] Cao Zhiguang, Jiang Siwei , Zhang Jie , and Guo Hongliang, “A unified framework for vehicle rerouting and traffic light control to reduce traffic congestion,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, pp. 1958 – 1973, July 2017.
- [29] R. S. de Sousa and A. C. B. Soares, “Estimativa e sinalizaç ao de congestionamentos de tráfego através de redes veiculares v2v,” *SBRC - Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, 2015.
- [30] M. Ferreira, R. Fernandes, H. Conceição, W. Viriyasitavat, and O. K. Tonguz, “Self-organized traffic control,” in *Proceedings of the seventh ACM international workshop on VehiculAr InterNETworking*, pp. 85–90, ACM, 2010.
- [31] Gao, Jason H. , Peh, Li-Shiuan , “Roadrunner: Infrastructure-less vehicular congestion control,” *Computer Science Laboratory*, September 2014.
- [32] “Omnet++: Discrete event simulator.” <https://omnetpp.org/>. Acessado em 02/10/2017.
- [33] “Veins: Vehicles in network simulation.” <http://veins.car2x.org/>. Acessado em 02/10/2017.

- [34] C. Sommer, R. German, and F. Dressler, “Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, pp. 3–15, January 2011.
- [35] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch, and L. Bieker, “Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility,” *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, vol. 5, pp. 128–138, December 2012.
- [36] “Handbook emission factors for road transport (hbefa).” <http://www.hbefa.net/e/index.html>. Acessado em 05/01/2018.