

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

Israel de Simas

**ALGORITMOS COM PREDIÇÃO PARA AGRUPAMENTO EM  
VANETS**

Florianópolis

2013



Israel de Simas

**ALGORITMOS COM PREDIÇÃO PARA AGRUPAMENTO EM  
VANETS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Jean-Marie Farines  
Coorientador: Prof. Dr. Werner Kraus Junior

Florianópolis

2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Simas, Israel de

Algoritmos com predição para agrupamento em vanets /  
Israel de Simas ; orientador, Jean-Marie Farines ; co-  
orientador, Werner Kraus Junior. - Florianópolis, SC, 2013.  
165 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Automação e Sistemas.

Inclui referências

1. Engenharia de Automação e Sistemas. I. Farines, Jean-  
Marie . II. Kraus Junior, Werner. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Automação e Sistemas. IV. Título.

# ALGORITMOS COM PREDIÇÃO PARA AGRUPAMENTO EM VANETS

Israel de Simas

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas.

Florianópolis, 25 de março 2013.

---

Prof. Dr. Jean-Marie Farines  
Orientador

---

Prof. Dr. Werner Kraus Junior  
Coorientador

---

Prof. Dr. Jomi Fred Hübner  
Coordenador do Curso

## **Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Jean-Marie Farines  
Presidente

---

Prof. Dr. Udo Fritzke Junior - PUC Minas/Poços de Caldas



---

Profa. Dra. Michelle Silva Wangham - UNIVALI

---

Prof. Dr. Leandro Buss Becker - DAS/UFSC





## AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar minha gratidão pelo orientador professor Dr. Jean-Marie Farines, por sua supervisão, dedicação, críticas construtivas e encorajamento da pesquisa descrita neste documento.

Eu gostaria também de agradecer o coorientador professor Dr. Werner Kraus Jr. pela sua ajuda, apoio e acompanhamento da pesquisa.

Um agradecimento mais que especial ao Doutorando Eduardo Cambuzzi, que além de incentivador, auxiliou com inúmeros conselhos tantos técnicos quanto pessoais. Cambuzzi com seu apoio foi um dos fatores fundamentais para a conclusão e manutenção deste trabalho.

Por último e não menos importante, eu gostaria de agradecer a minha família e amigos que me ajudaram durante o período de mestrado.



## RESUMO

As VANETs (*Vehicular Ad hoc Networks*) são redes auto-organizáveis, formadas por um conjunto de veículos e elementos de infraestrutura rodoviária que são conectados uns com os outros sem a necessidade de uma infraestrutura subjacente. Estas redes objetivam proporcionar conforto e segurança aos passageiros, através de aplicações de entretenimento, informações sobre acidentes na pista e condição da rodovia. A disseminação e o tempo em que as mensagens trafegam nestas redes desempenham um papel essencial às aplicações que precisam atuar, rapidamente nos veículos, a favor da prevenção de acidentes e segurança dos passageiros. Por isso, as VANETs requerem métodos eficientes e confiáveis para a comunicação de dados. Um método utilizado para suprir os desafios das VANETs é particionar a rede em grupos lógicos chamados agrupamentos. Agrupamentos de veículos demonstram-se eficazes no controle da topologia da rede, pois possibilitam aumentar a capacidade, reduzem a sobrecarga de roteamento e tornam-a escalável na presença de elevada mobilidade dos veículos. Assim, diferentes sistemas de gerenciamento de agrupamentos são propostos para a formação e a manutenção de agrupamentos quando estes trafegam por rodovias e vias urbanas. Nas vias urbanas, em particular, a manutenção dos agrupamentos torna-se desafiadora devido aos inúmeros elementos que constantemente alteram a mobilidade dos veículos, como os controladores semafóricos e as intersecções. Nas regiões próximas a estes elementos, os agrupamentos estão sujeitos a quebras de enlace de comunicação e aumento na colisão de pacotes, causadas pelas ações dos semáforos, aumentos na densidade e dispersão dos veículos. Entretanto, as abordagens de agrupamentos normalmente não consideram os aspectos da mobilidade e os impactos destas regiões na manutenção dos agrupamentos. Nesta dissertação, propõe-se mecanismos que inseridos a um sistema de gerenciamento de agrupamentos em redes veiculares permitem a travessia estável de agrupamentos por regiões semafóricas e interseccionais em vias urbanas. Estes mecanismos acrescentam melhorias no desempenho do sistema de gerenciamento de agrupamentos, permitindo que ações preventivas sejam realizadas nos agrupamentos afim de minimizar os impactos causados pelo aumento na densidade e dispersão de veículos, nas regiões urbanas avaliadas. Os resultados dos experimentos comprovam que os mecanismos preditivos atingem seus objetivos e contribuem para que aplicações em VANETs usufruam desta maior estabilidade.

**Palavras-chave:** VANETs, agrupamentos, comunicação, predição, semáforos, intersecções



## ABSTRACT

The VANETs (*Vehicular Ad hoc Networks*) are self-organizing networks formed by a group of vehicles and elements of roadside infrastructure that are connected with each other without the need for underlying infrastructure. These networks aim to provide comfort and safety to passengers through entertainment applications, information about accidents road and condition of the road. The availability and the time that messages travel over these networks have an essential role for applications that need to act quickly in vehicles, in favor of preventing accidents and passenger safety. Therefore, VANETs require efficient and reliable methods for data communication. A method used to support the challenges of VANETs is partitioned the network into logical groups called clusters. Clusters of vehicles demonstrate to be effective in controlling the topology of the network, as they allow to increase the capacity, reduce the routing overhead and make it scalable in the presence of high mobility vehicles. Thus, different management systems clusters are proposed for the formation and maintenance of clusters when they travel over highways and urban roads. On urban roads, in particular, maintaining the clusters is a challenge due to the numerous elements that constantly alter the mobility of vehicles, such as semaphores and intersections. In regions close to these elements, the clusters are subject to breaks communication link and increase the packet loss caused by the actions of semaphores, increases in the density and dispersion of vehicles. However, these approaches typically do not consider clustering aspects of mobility and impact of these regions in the maintenance of clusters. This dissertation proposes mechanisms that aggregated in a management system of cluster allow a stable crossing of clusters by regions with semaphores and intersections. These mechanisms improve the performance in the management system of cluster, allowing preventive actions that are carried in clusters in order to minimize the impacts caused by the increase in the density and dispersion of vehicles in urban regions evaluated. The experimental results demonstrated that the predictive mechanisms achieve their goals and contribute to applications in VANETs take advantage of this increased stability.

**Keywords:** VANETs, clusters, communication, prediction, traffic light, intersection



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Aviso de congestionamento na rodovia (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).....	24
Figura 2	Exemplo de agrupamentos e seus elementos constituintes ....	30
Figura 3	Sistema SIGA .....	39
Figura 4	Agrupamento particionado com líder ultrapassando o semáforo	60
Figura 5	Agrupamento particionado com líder que não ultrapassa o semáforo	62
Figura 6	Exemplo da atuação do mecanismo de predição .....	65
Figura 7	Segmentos da Via .....	67
Figura 8	Resultados da componente $DS_{(i,s)}$ .....	74
Figura 9	Resultados da componente $DA_i$ .....	75
Figura 10	Resultados obtidos no limiar $W_{TH}$ .....	78
Figura 11	Limiares de velocidade e distância que determinam a atuação do mecanismo de predição semafórica .....	79
Figura 12	Exemplo de dispersão do agrupamento na região interseccional	87
Figura 13	Exemplo de dispersão e reagrupamento de nodos em intersecções	88
Figura 14	Exemplo da atuação do mecanismo de predição interseccional via seta em uma Intersecção com saída à direita.....	101
Figura 15	Exemplo de atuação do mecanismo de predição via seta com todos os nodos contornando à direita na intersecção .....	103
Figura 16	Exemplo de segmentação numa intersecção com saída à direita, que possui dois segmentos antecessores e dois segmentos sucessores.....	106
Figura 17	Atuação da predição interseccional via rota numa intersecção	110
Figura 18	Atuação da predição interseccional via rota com saída à direita	112
Figura 19	<i>Timeslot</i> de difusão das mensagens dos nodos nos experimentos .....	122
Figura 20	Via arterial urbana com 3000m de comprimento .....	124
Figura 21	Duração dos agrupamentos diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.....	126
Figura 22	Número de agrupamentos diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.....	128
Figura 23	Número de transferências de liderança diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.....	129

Figura 24	Número de reconfigurações diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.....	131
Figura 25	Número de refiliações diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.....	133
Figura 26	Via interseccional urbana com 2000m de comprimento .....	137
Figura 27	Duração dos agrupamentos diante do caso 1 .....	138
Figura 28	Duração dos agrupamentos diante do caso 2 .....	139
Figura 29	Número de agrupamentos diante da variação do caso 1 .....	141
Figura 30	Número de agrupamentos diante do caso 2 .....	142
Figura 31	Número de transferências de liderança diante do caso 1 .....	143
Figura 32	Número de transferências de liderança diante do caso 2.....	144
Figura 33	Número de reconfigurações diante do caso 1 .....	146
Figura 34	Número de reconfigurações diante do caso 2.....	147
Figura 35	Número de refiliações diante do caso 1 .....	148
Figura 36	Número de refiliações diante do caso 2.....	149



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação dos diferentes algoritmos de agrupamentos . . . . .	36
Tabela 2	Campos em uma mensagem do sistema semafórico . . . . .	64
Tabela 3	Configuração do Limiar . . . . .	77
Tabela 4	Senso de direção . . . . .	85
Tabela 5	Características dos veículos . . . . .	121
Tabela 6	Parâmetros do Simulador de Rede . . . . .	122
Tabela 7	Parâmetros adotados nos experimentos . . . . .	124
Tabela 8	Parâmetros adicionais do mecanismo de Predição Semafórica	125
Tabela 9	Tempos dos ciclos semafóricos . . . . .	125
Tabela 10	Parâmetros adicionais do mecanismo de Predição via Rota . . .	136
Tabela 11	Parâmetros adicionais do mecanismo de Predição via seta . . .	136



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APROVE	Affinity PROpagation for VEhiclar networks . . . . .	23
CCI	Cluster Contention Interval . . . . .	23
DMAC	Distributed Mobility-adaptive clustering . . . . .	23
DSRC	Dedicated Short-Range Communications . . . . .	23
FCC	Federal Communications Commission . . . . .	23
GPS	Global Positioning System . . . . .	23
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers . . . . .	23
ITS	Intelligent Transport Systems . . . . .	23
IVC	Inter-Vehicle Communications . . . . .	23
LID	Lowest-ID Clustering . . . . .	23
MAC	Multiple Access Control . . . . .	23
MANET	Mobile Ad Hoc Networks . . . . .	23
NED	NETwork Description . . . . .	23
OMNET++	Objective Modular Network Testbed in C++ . . . . .	23
QoS	Quality of Service . . . . .	23
RSU	Road Side Unit . . . . .	23
SIGA	Sistema de Gerenciamento de Agrupamentos em Redes Ve- culares . . . . .	23
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade . . . . .	23
SUMO	Simulation of Urban MObility . . . . .	23
TDMA	Time Division Multiple Access . . . . .	23
TLVC	Traffic-Light-to-Vehicle Communication . . . . .	23
TraCI	Traffic Control Interface . . . . .	23
VANET	Vehicular Ad Hoc Networks . . . . .	23
VRC	Vehicle-Road Communication . . . . .	23
V2I	vehicle-to-infrastructure . . . . .	23
V2V	Vehicle to Vehicle Communication . . . . .	23
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments . . . . .	23
WCA	Weight Cluster Algorithm . . . . .	23



## LISTA DE ALGORITMOS

1	Algoritmo de formação dos agrupamentos. ....	44
2	Algoritmo de transferência de liderança .....	45
3	Algoritmo de fusão de agrupamentos.....	46
4	Algoritmo de refiliação. ....	50
5	Algoritmo de atualização da vizinhança. ....	52
6	Detector de Conectividade .....	54
7	Algoritmo de determinação da vizinhança semafórica .....	68
8	Detector de ultrapassagem semafórica .....	70
9	Algoritmo de atualização de vizinhança proposto. ....	80
10	Algoritmo de transferência de liderança .....	81
11	Determinação da Vizinhança Interseccional .....	96
12	Compatibilidade no senso de direção .....	99
13	Recupera o senso de direção estimado com a seta .....	100
14	Determinação da Vizinhança Interseccional .....	108
15	Algoritmo de atualização de vizinhança proposto .....	114



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1 MOTIVAÇÃO .....	25
1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	27
<b>1.2.1 Objetivos específicos</b> .....	27
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	28
<b>2 AGRUPAMENTOS EM VANETS</b> .....	29
2.1 AGRUPAMENTOS EM MANETS .....	29
<b>2.1.1 Lowest-ID</b> .....	30
<b>2.1.2 Highest-Degree</b> .....	31
<b>2.1.3 WCA</b> .....	32
2.2 ALGORITMOS DE AGRUPAMENTO EM VANETS .....	33
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	36
<b>3 UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE AGRUPAMEN- TOS EM VANETS</b> .....	39
3.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA .....	40
3.2 FORMAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS AGRUPAMENTOS .....	41
<b>3.2.1 Mecanismo de Formação do Agrupamento</b> .....	41
<b>3.2.2 Mecanismo de Manutenção do Agrupamento</b> .....	44
3.3 SUPORTE PARA DETECÇÃO CONFIÁVEL DE VIZINHOS ...	50
<b>3.3.1 Modelo de Comunicação</b> .....	50
<b>3.3.2 Mecanismo de determinação da vizinhança</b> .....	51
<b>3.3.3 Mecanismo de adaptação dos tempos de espera</b> .....	53
<b>3.3.4 Detector de Conectividade</b> .....	54
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	55
<b>4 AGRUPAMENTOS EM REGIÕES SEMAFÓRICAS</b> .....	57
4.1 INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS SEMAFÓRICOS .....	57
<b>4.1.1 Sistemas Semafóricos</b> .....	58
<b>4.1.2 Exemplos de Cenários Semafóricos</b> .....	58
<b>4.1.3 Particionamento do agrupamento com ultrapassagem do líder</b>	59
<b>4.1.4 Particionamento do agrupamento sem ultrapassagem do líder</b>	62
4.2 MECANISMO DE PREDIÇÃO SEMAFÓRICA .....	63
<b>4.2.1 Descrição do mecanismo</b> .....	64
<b>4.2.2 Determinação da Vizinhança Semafórica</b> .....	66
<b>4.2.3 Detector de ultrapassagem semafórica</b> .....	69
<b>4.2.4 Cálculo do peso <math>U_i</math></b> .....	72
<b>4.2.5 Algoritmo de Compensação do Limiar <math>W_{Th}</math></b> .....	75
4.3 MODIFICAÇÃO DOS MECANISMOS DO SISTEMA SIGA ...	79

4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	82
<b>5</b>	<b>AGRUPAMENTOS EM INTERSECÇÕES</b>	83
5.1	INFLUÊNCIA DAS INTERSECÇÕES NOS AGRUPAMENTOS	83
5.1.1	Cenários com Intersecções	86
5.2	HEURÍSTICAS PARA O TRATAMENTO EM INTERSECÇÕES	89
5.2.1	Informação da seta	90
5.2.2	Informação da rota planejada	91
5.2.3	Comparação das informações heurísticas	92
5.3	MECANISMO DE PREDIÇÃO INTERSECCIONAL VIA SETA	93
5.3.1	Descrição do mecanismo	93
5.3.2	Determinação da Vizinhança Interseccional	95
5.3.3	Tempo de espera pela Seta	97
5.3.3.1	Detector de compatibilidade no senso de direção	99
5.3.3.2	Detector do senso de direção	99
5.3.4	Exemplos da atuação da predição interseccional via seta	100
5.4	MECANISMO DE PREDIÇÃO INTERSECCIONAL VIA ROTA	104
5.4.1	Mensagem de sinalização com informação da rota	105
5.4.2	Segmentação da pista na região de intersecção	105
5.4.3	Determinação da Vizinhança Interseccional	106
5.4.4	Exemplos da atuação da predição interseccional via rota	109
5.5	PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DOS MECANISMOS DE SIGA	113
5.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	115
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DAS PROPOSTAS</b>	117
6.1	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO	117
6.2	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	119
6.2.1	Simulador de rede	119
6.2.2	Simulador de tráfego	120
6.2.3	Características dos veículos e fluxos de Tráfego	120
6.2.4	Parâmetros da Simulação de Rede	121
6.2.5	Tratamentos dos dados	122
6.3	EXPERIMENTOS	123
6.3.1	Experimentos para avaliação do mecanismo de predição para região semafórica	123
6.3.2	Experimentos para avaliação dos mecanismos de predição para regiões Interseccionais	136
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	152
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	155
7.1	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	156
7.2	PERSPECTIVAS FUTURAS	157
	<b>Referências Bibliográficas</b>	159



## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o levantamento do ministério da saúde, com base em dados do SIM (Sistema de Informações sobre Mortalidade), no ano de 2010 os acidentes de trânsito no Brasil provocaram mais de 40 mil fatalidades. Associados a estes acidentes, incluem-se os impactos econômicos relacionados aos gastos com saúde, perda de produção, relativo à morte das pessoas ou interrupção de suas atividades, seguido dos custos associados aos veículos. Geralmente, estes acidentes são causados por falhas no comportamento do motorista, condições ruins do tempo e problemas mecânicos (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2007; THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM, 2012).

Os impactos econômicos e sociais causados por acidentes envolvendo veículos têm motivado a pesquisa e desenvolvimento de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS - *Intelligent Transportation Systems*). ITS são aplicações de comunicação, eletrônica embarcada, navegação e tecnologias de processamento de informações que são projetadas para melhorar o desempenho do sistema de transporte vigente, em relação a segurança, eficiência, limitar o impacto dos veículos sobre o ambiente, etc. Uma ampla gama de aplicações constituem um ITS, como sistemas de gerenciamento de tráfego, disponibilização de informações aos viajantes, sistemas de pagamento eletrônico e sistemas avançados de controle de veículos (NEWMAN-ASKINS; FERREIRA; BUNKER, 2003).

Na parte referente a comunicação, uma das áreas mais promissoras de pesquisa é o estudo das comunicações entre veículos (V2V - *vehicle-to-vehicle*) e a comunicação veículo com a Infraestrutura (V2I - *vehicle-to-infrastructure*), mais especificamente a VANET (*Vehicular Ad-hoc Networks*).

A principal utilização das VANETs inclui aplicações de tempo-real para prover segurança aos motoristas dos veículos, proporcionando confiabilidade na direção e proporcionando ferramentas essenciais na decisão do melhor caminho ao trafegar por uma rodovia. Estas aplicações visam minimizar acidentes e melhorar as condições do tráfego ao conceder informações úteis, como: avisos de colisão, problemas na pista, pontos de congestionamento e possíveis rotas de desvio (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010).

Um exemplo de aplicação da comunicação em redes VANETs é ilustrado na Figura 1. Neste cenário é ilustrado um congestionamento que ocorre na rodovia e a consequente notificação deste evento, através de mensagens de sinalização, para os veículos que se aproximam do local do congestionamento.

Estas aplicações necessitam de comunicações com rigorosa confia-

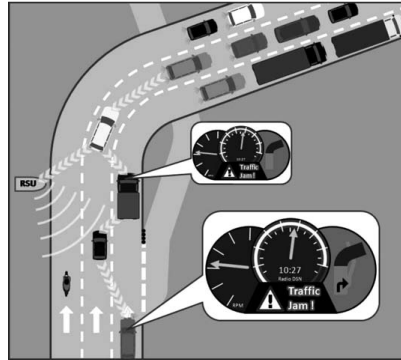


Figura 1 – Aviso de congestionamento na rodovia (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010)

bilidade, baixa latência e alta disponibilidade, que não são satisfeitas pelos atuais padrões de redes sem fio. Perante estas premissas, muitas pesquisas iniciaram-se para resolver este difícil problema (CAR 2 CAR COMMUNICATION CONSORTIUM, 2012), resultando no desenvolvimento do padrão de comunicação DSRC (*Dedicated Short Range Communication*). O DSRC contempla um conjunto de protocolos e padrões e determina os requisitos de uma comunicação de segurança, como por exemplo o alerta de colisão. Além disso, para alcançar os requisitos traçados no DSRC, o emprego de um novo protocolo de rede sem fio observou-se necessário, resultando no desenvolvimento do 802.11p ou WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*) (MOUSTAFA; ZHANG, 2009).

As VANETs são caracterizadas pela alta mobilidade e densidade dos nodos, o que torna a topologia destas altamente dinâmica no decorrer do tempo, apesar dos movimentos restritos e previsíveis dos veículos (SANTOS; EDWARDS; SEED, 2004). Estas características introduzem desafios na comunicação entre veículos com a infraestrutura de tráfego. Uma técnica eficiente para resolver tais desafios é permitir que os nodos se auto-organizem em agrupamentos. A formação de agrupamentos permite hierarquizar a comunicação entre os veículos, na qual nodos têm responsabilidades pré-definidas na rede. Com esta hierarquia, os agrupamentos possibilitam organizar o acesso ao meio-físico, agregar qualidade de serviço, melhorar a escalabilidade do sistema e simplificar o roteamento de mensagens. Portanto, a introdução desta estrutura, mostra-se importante para o desempenho de VANETs, além de provarem ser um método eficaz no controle da topologia (MOUSTAFA; ZHANG, 2009; OLARIU; WEIGLE, 2009).

A formação e manutenção de agrupamentos é um desafio tratado em inúmeros trabalhos (FAN, 2007; SHEA, 2009; ALMALAG; WEIGLE, 2010; GOPALASWAMY, 2007; GUNTER; WIEGEL; GROSSMANN, 2007; CAMBRUZZI, 2013) que visam criar agrupamentos que possam percorrer as vias urbanas e rodovias de maneira robusta e estável. Entretanto, um tema pouco discutido e tratado por estas propostas são as perturbações existentes nas vias urbanas que podem acarretar em instabilidades na manutenção dos agrupamentos, como a aproximação dos agrupamentos às regiões com sistemas semafóricos e regiões interseccionais. Nestes cenários, os agrupamentos tendem a se aglomerar, fundir-se e particionar-se, por causa da mudança de pista ou atuação de sistemas semafóricos.

Nesta dissertação, propõe-se mecanismos que agregados a um sistema de gerenciamento de agrupamentos em redes veiculares, contribuem na robustez da formação e manutenção de agrupamentos quando próximos a regiões semafóricas e regiões com intersecção. Estes mecanismos têm por objetivo realizar predições dos aspectos comportamentais dos veículos que se aproximam destas regiões, e assim melhorar a robustez da comunicação em VANETs tornando-a mais eficiente. Com isso, proporcionar uma melhora no desempenho às aplicações que usufruem de agrupamentos.

De acordo com (CAMBRUZZI, 2013), a robustez de sistemas de gerenciamento de agrupamentos está relacionada a adaptabilidade destes às mudanças na densidade e mobilidade dos veículos. Estas mudanças afetam a topologia e a comunicação entre os nodos da rede, aumentando as quebras de enlaces, atrasos e perdas de mensagens entre eles. Assim, um sistema é considerado robusto quando é capaz de se adaptar e tolerar falhas na comunicação entre seus nodos.

Esta dissertação de mestrado representa a continuidade da tese proposta em (CAMBRUZZI, 2013), a qual apresenta um sistema de gerenciamento de agrupamentos em VANETs. Os resultados e limitações expostos desta tese são o ponto de partida para o desenvolvimento dos mecanismos propostos nesta dissertação. Portanto, este trabalho não discutirá sobre o sistema de gerenciamento de agrupamentos mas suas possíveis extensões.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Uma quantidade considerável de pesquisas e abordagens têm sido desenvolvidas para a formação de agrupamentos na intenção de solucionar os desafios de comunicação das redes VANETs (FAN, 2007; SHEA, 2009; ALMALAG; WEIGLE, 2010; GOPALASWAMY, 2007; GUNTER; WIEGEL; GROSSMANN, 2007).

A formação, entretanto, é apenas um dos problemas que um sistema de gerenciamento de agrupamentos propõe-se a tratar. Além da formação, há a estratégia de manutenção do agrupamento que visa a preservação do agrupamento coeso e estável sob as condições de mudanças da rede e do tráfego. Assim, estas duas tarefas, formação e manutenção, operam em conjunto e continuamente durante a existência de um agrupamento. A tarefa de formação visa a criação de agrupamentos baseada na previsibilidade da topologia da atual rede, enquanto que a manutenção almeja reduzir os impactos causados pelas mudanças imprevisíveis da rede e do tráfego (LI, 2011).

As mudanças na movimentação do tráfego sobre a pista podem afetar a manutenção dos agrupamentos, devido as rápidas e distintas mudanças nos parâmetros elementares tais como a velocidade e o posicionamentos dos veículos do agrupamento. Dentre os elementos existentes nas vias responsáveis por mudanças no comportamento dos veículos, estão os sistemas semafóricos e as intersecções.

Os sistemas semafóricos tem como principal funcionalidade regular o fluxo do tráfego em uma rodovia. A presença dos semáforos propicia a aglomeração dos veículos nas regiões semafóricas, já que estes são obrigados a esperar o sinal se tornar *verde* para prosseguir o trajeto planejado. O aumento da densidade de nodos junto aos semáforos, em parte, melhora a conectividade da rede entre os veículos por causa da proximidade entre estes. Entretanto, ao mesmo tempo, esta compactação também aumenta a chance de colisões de pacotes devido ao aumento do número de nodos transmitindo simultaneamente numa mesma região.

A alternância periódica do estado do sinal (*verde*, *vermelho* e *amarelo*) no semáforo tem inúmeros efeitos diretos na formação e manutenção de agrupamentos, tais como: ruptura do agrupamento, na qual parte dos membros do agrupamento ultrapassam o semáforo antes deste fechar (sinal *vermelho*), enquanto que outros param e esperaram que o sinal alterne para *verde*, liberando a passagem; instabilidades causadas pelo rápido aumento da densidade e formações de agrupamentos com curto período de duração. Os problemas relacionados a aproximação de sistemas semafóricos relacionados acima, comumente não são tratáveis nos algoritmos de agrupamentos para VANETs, tornando-os ineficientes nestas condições.

Outro elemento responsável pela mudança comportamental do tráfego são as intersecções. Nestas regiões, os veículos podem optar por trafegar por diferentes rotas, ocasionando particionamentos nos enlaces de comunicação do agrupamento. Além disso, os agrupamentos quando se aproximam das regiões interseccionais sofrem deformações em sua formação causados por fatores, como: desaceleração de nodos ao contornar uma curva, aglomeração e fusão de agrupamentos causados pela proximidade destes, particionamen-

tos causados pela dispersão dos veículos nas intersecções e filiações com a entrada de novos veículos à via.

Entretanto, a passagem dos agrupamentos de veículos tanto por regiões semaforicas como pelas regiões interseccionais podem ser previstas, através da identificação de mensagens emitidas por elementos da pista ou pelo comportamento da mobilidade dos próprios veículos participantes dos agrupamentos. A disponibilização e utilização destas informações podem ser úteis para a concepção de mecanismos heurísticos que visam manter os agrupamentos estáveis na passagem por estas regiões.

As técnicas convencionais de formação e manutenção de agrupamentos em redes veiculares *ad hoc* costumam negligenciar o impacto que os sistemas semaforicos e as intersecções têm sobre as estratégias de formação e manutenção dos agrupamentos. Conforme apresentado, estes elementos são causadores de mudanças na movimentação dos veículos nas vias e com isso podem afetar a estabilidade e desempenho das estratégias de formação e manutenção de agrupamentos, devido às perturbações nos mecanismos que realizam a manutenção dos agrupamentos.

De acordo com as considerações apresentadas, identifica-se a necessidade de tornar a comunicação em VANETs mais robusta, em regiões semaforicas e interseccionais, visando a manutenção de agrupamentos estáveis durante a passagem por estas regiões. A estabilidade proporcionada pelos mecanismos preditivos visa melhorar a coleta de dados e propiciar às aplicações de roteamento melhores condições para o encaminhamento de mensagens nas regiões de intersecção e semaforicas.

## 1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O objetivo geral desta dissertação de mestrado é a avaliação e o desenvolvimento de mecanismos, que embutidos em um algoritmo de agrupamento, viabilizem a predição do particionamento de agrupamentos quando trafegam em vias urbanas. Afim de reduzir as instabilidades na manutenção dos agrupamentos decorrentes das mudanças na mobilidade e na densidade dos veículos que são causados pela aproximação as regiões com sistemas semaforicos e intersecções.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, as seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. analisar as soluções empregadas para formação e manutenção de agrupamentos em VANETs;
2. projetar mecanismos utilizando-se de informações e características analisadas do algoritmo de agrupamento e os efeitos deste sob influência do sistema semafórico e intersecções;
3. avaliar através dos experimentos simulados, o impacto dos mecanismos no desempenho e nas métricas do sistema de gerenciamento de agrupamentos, quando comparado ao algoritmo proposto em (CAMBRUZZI, 2013).

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este documento está estruturado em sete capítulos. O Capítulo 1, Introdução, apresentou uma visão geral do trabalho, como as motivações, as justificativas, a problematização do trabalho e os objetivos do trabalho.

No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica sobre algoritmos de agrupamentos em redes MANETs e VANETs, que descreve as principais estratégias adotadas para formação de agrupamentos nestas redes. Nesse capítulo, também é realizada uma descrição sobre os problemas e desafios na formação de agrupamentos em VANETs.

O Capítulo 3 apresenta o sistema SIGA, no qual são apresentadas a arquitetura, estratégia e principais características deste algoritmo.

O Capítulo 4 apresenta uma análise do comportamento do agrupamento quando utiliza-se o sistema de gerenciamento de agrupamentos SIGA sob condições de influência de sistemas semafóricos, os desafios e os problemas enfrentados neste cenário. Em seguida, tem-se a descrição detalhada do mecanismo preditivo proposto que realiza o tratamento em regiões semafóricas, no qual são apresentadas as implementações destes mecanismos e as modificações empregadas no sistema SIGA.

No capítulo 5, os desafios e as características comportamentais dos agrupamentos em regiões com intersecção são descritos. Soluções através de dois mecanismos preditivos, que utilizam informações da seta e rota, são propostas para manter a robustez dos agrupamentos em regiões interseccionais.

O Capítulo 6 apresenta os resultados encontrados no desenvolvimento do trabalho, cenário de teste, ferramentas de simulação e, por fim, análise dos resultados.

Finalmente, no Capítulo 7, é apresentada a conclusão, na qual são abordados os resultados, as contribuições do trabalho e descrição de sugestões para trabalhos futuros.

## 2 AGRUPAMENTOS EM VANETS

Este capítulo descreve os algoritmos para formação e manutenção de agrupamentos sob dois aspectos. O primeiro introduz alguns dos algoritmos mais utilizados em MANETs. Na segunda parte são descritos algumas propostas de algoritmos para agrupamentos em VANETs.

### 2.1 AGRUPAMENTOS EM MANETS

As MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*) são redes sem fio constituídas de nodos móveis, que cooperativamente formam uma rede de comunicação sem estrutura ou administração centralizada. A priori, como não há uma coordenação ou configuração das MANETs, este tipo de rede torna-se desafiadora em diversos aspectos, tais como: roteamento de pacotes, em um ambiente no qual a topologia muda frequentemente, questões de comunicação sem-fio e alocação de recursos como potência e armazenamento.

Dentre os desafios enfrentados em MANETs, estão os protocolos de roteamento para as mensagens de dados entre os nodos da rede. Em algumas ocasiões, torna-se claro que a inundação de mensagens dentro de uma rede é inapropriada e causa um alto nível de congestionamento. Por outro lado, estratégias que buscam a comunicação ponto-a-ponto baseados em esquemas de requisição e resposta não são apropriadas, quando a informação é necessária a todos os nodos simultaneamente. O problema se agrava com o aumento da escala e acréscimo da mobilidade dos nodos, conforme avaliada em (NI et al., 1999). Por isso, propostas optam substituir a inundação desestruturada de mensagens por uma topologia hierárquica e distribuída que utiliza agrupamentos (*cluster*), com o intuito de solucionar problemas relacionados a escalabilidade das redes. Inúmeras propostas para formação de agrupamentos foram sugeridos e (YU; CHONG, 2005) providencia uma compreensiva visão dos algoritmos empregados em MANETs.

Agrupamentos são estruturas que organizam hierarquicamente a rede e visam facilitar o gerenciamento de sistemas complexos e a escalabilidade de informações trafegadas na rede. Nos agrupamentos, diversos nodos se organizam em um grupo, em torno de um representante, momentaneamente selecionado e denominado líder. Este nodo assume a responsabilidade de coordenar os restantes dos nodos do agrupamento, comumente chamados de membros. Na maioria das abordagens de agrupamentos para MANETs um nodo é responsabilizado pela formação e manutenção do agrupamento e comumente identificado como nodo líder. Dependendo do esquema, o líder

pode atuar como retransmissor na comunicação entre agrupamentos e/ou interface de *gateway* para outros nodos membros dentro do agrupamento.

Um exemplo de formação de agrupamentos é mostrado na Figura 2, na qual identificam-se três estados possíveis de um nodo: *líder*, *membro* e *gateway*. Algumas vezes, um estado adicional chamado de *indeciso* é utilizado, com o intuito de indicar o estado inicial de um nodo.

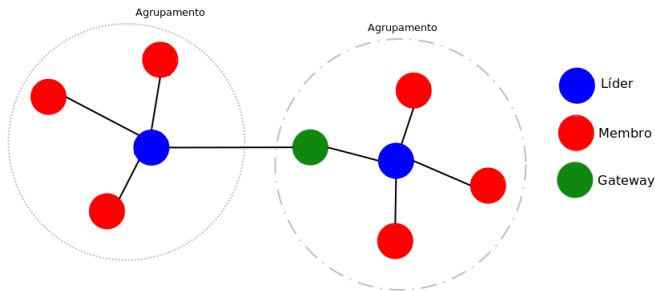


Figura 2 – Exemplo de agrupamentos e seus elementos constituintes

De acordo com (YU; CHONG, 2005), a formação de agrupamentos proporcionam alguns benefícios básicos de comunicação, tais como:

1. reuso de recursos para aumentar a capacidade do sistema, como a reutilização da frequência de transmissão de dados em redes sem fio;
2. simplificação do endereçamento, do roteamento e do balanceamento de carga;
3. formação de um *backbone* virtual que facilita o roteamento de mensagens; e
4. melhora a estabilidade e escalabilidade da rede do ponto de vista dos nodos membros, os quais apenas se comunicam com nodos dentro do próprio agrupamento.

A seguir são descritas as principais estratégias para a formação de agrupamentos em MANETs.

### 2.1.1 Lowest-ID

O algoritmo Lowest-ID, proposto em (LIN; GERLA, 1997) é considerado simples e com poucas trocas de mensagens para a formação e manutenção



dos agrupamentos. Neste algoritmo, a cada nodo é atribuído um único ID e o nodo com o menor ID, em sua vizinhança a dois saltos, é considerado o líder do agrupamento. O algoritmo funciona da seguinte maneira:

1. Cada nodo sinaliza periodicamente o seu ID para seus vizinhos;
2. Caso o nodo somente receba sinalizações com IDs superiores ao próprio ID, este torna-se líder;
3. Nodos que recebam uma mensagem de sinalização com ID menor que o próprio ID, tornam-se membros do agrupamento;
4. O menor ID que um nodo *membro* identifica em sua vizinhança é o ID do líder do agrupamento em que participará; e
5. Caso o líder de um agrupamento torna-se *membro*, os membros de seu antigo agrupamento devem reiniciar o processo de formação e buscar um novo líder.

Este método tem sido discutido em inúmeros trabalhos, como (JI-ANG; LI; TAY, 1999; BASU; KHAN; LITTLE, 2001) e é conhecido por sua estabilidade em aplicações MANETs. Em contrapartida, a simplicidade da Lowest-ID não é adequada para cenários em que os nodos possuem grande mobilidade. Isto ocorre, porque neste algoritmo avalia-se apenas o critério do nodo com o menor ID, no qual o ID é arbitrariamente designado entre os nodos participantes da rede. A escolha arbitrária de um líder, a partir do ID, não acompanha as mudanças na mobilidade dos agrupamentos e, por isso, a formação e remanejamento de agrupamentos são constantes quando este é utilizado em cenários com alta mobilidade.

### 2.1.2 Highest-Degree

O algoritmo Highest-Degree utiliza o grau de conectividade de cada nodo, dentro de seu raio de comunicação, para determinar o líder do agrupamento. Proposto originalmente por (GERLA; TSAI, 1995), o algoritmo elege como líder do agrupamento, o nodo com o maior número de vizinhos, ou seja, com maior grau de conexões diretas entre nodos. Caso haja um empate, o nodo com o menor-ID torna-se líder. Os vizinhos de um nodo líder tornam-se membros deste agrupamento e, a partir deste evento, não participam de outro processo de formação.

O algoritmo tem como características importantes, a formação de agrupamentos maiores, em relação ao algoritmo Lowest-ID e apresenta um número menor de mudanças de liderança.

Entretanto, em implementações para MANETs, o crescimento sem controle do número de nodos no agrupamento, diminui o *throughput* e como consequência há degradações no desempenho do sistema, já que ao líder é atribuída a tarefa de gerenciar e compartilhar recursos entre os nodos membros do agrupamento. Outro problema característico é a alta taxa de reafiliação causada pela movimentação dos nodos ao longo do tempo.

Todos estes problemas, prejudicam a estabilidade do agrupamento, ocorrem porque esta estratégia não possui qualquer restrição com relação ao número máximo de nodos participantes em um agrupamento.

### 2.1.3 WCA

O algoritmo WCA (*Weighted clustering algorithm*), proposto por (CHATTERJEE; DAS; TURGUT, 2000), considera um conjunto de parâmetros como critério de seleção do líder do agrupamento. Dentre estes parâmetros incluem-se a mobilidade, a capacidade de gerenciamento dos nodos membros e a potência da bateria. O WCA seleciona os líderes de acordo com os valores de peso de cada nodo. O nodo com o menor peso é selecionado como líder do agrupamento. O peso associado a um determinado nodo  $v$  é definido como:

$$W_v = w_1 \Delta_v + w_2 D_v + w_3 M_v + w_4 P_v \quad (2.1)$$

Uma vez definidas as variáveis que compõe o peso de um nodo, cada uma delas é multiplicada por um fator  $w_i$ , tal que  $\sum w_i = 1$ , que representa o peso de cada fator no cálculo.  $\Delta_v$  representa a quantidade ideal de membros em um agrupamento. O parâmetro  $D_v$  define a soma das distâncias euclidianas entre nodo  $v$  e seus vizinhos. Este fator está relacionado ao consumo de energia desde que mais potência é necessária para maiores distâncias de comunicação.  $M_v$  é a medida de mobilidade do nodo em um período do tempo. O parâmetro  $P_v$  é um valor cumulativo e determina o período de tempo que um nodo esteve na função de líder.  $P_v$  é uma medida que procura avaliar o consumo potência da bateria no tempo, desde que nodos líderes consumem mais bateria em relação aos nodos membros por causa das responsabilidades extras no gerenciamento do agrupamento.

O processo de eleição é realizado no início de formação do agrupamento ou quando o líder não estiver mais disponível a todos os nodos. Este processo somente finaliza quando todos os nodos assumem uma função no agrupamento, *líder* ou *membro*. No processo de manutenção, os nodos devem monitorar periodicamente as mensagens transmitidas por seus vizinhos. Caso um nodo perceba que perdeu seu líder e não consiga reafiliar-se, ele so-

licita que a fase de formação seja executada novamente. O agrupamento não entra na fase de formação, caso um dos nodos refilia-se em outro agrupamento.

A estratégia WCA apresenta uma boa heurística, no que se refere aos critérios de escolha do líder baseados numa função de peso. No entanto os fatores da função de peso, não são os mais adequados às redes com alta mobilidade dos nodos o que conduz a alta frequência de refiliações e, conseqüentemente, aumenta a sobrecarga de comunicação e consumo de recursos. No algoritmo do WCA o nodo com menor mobilidade tem um fator  $M_v$  que ajuda a qualificá-lo melhor para a função de líder. Priorizar um nodo lento para a liderança em uma VANET, significa que os demais membros logo se afastarão, perdendo contato com o líder, causando refiliações e mudanças na topologia da rede.

## 2.2 ALGORITMOS DE AGRUPAMENTO EM VANETS

Os algoritmos para agrupamentos em MANETs tem sido extensivamente estudados (SIVAVAKEESAR; PAVLOU, 2002; BASAGNI, 1999; BASAGNI et al., 1997; AGARWAL; MOTWANI, 2009). Entretanto, os estudos e desenvolvimentos nesta área não contemplam a mobilidade das redes veiculares. O modelo de mobilidade utilizado na maioria das pesquisas em MANETs é o *Random Waypoint Model* (JOHNSON; MALTZ, 1996), o qual considera movimentos randômicos para os nodos integrantes da rede.

Em VANETS, de acordo com (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010), os veículos possuem movimentação restrita por vias pré-existentes, bloqueios da sinalização emitida causadas por obstáculos como prédios e árvores, que influenciam na taxa de conectividade experimentada por um nodo. A mobilidade dos veículos pode ser observada com as seguintes características:

- O movimento dos veículos é regulado por leis que definem, por exemplo, a velocidade máxima e mínima permitidas;
- As velocidades dos veículos exibem grande variação (máxima e mínima) durante a mobilidade nas rodovias;
- Os veículos são espacialmente inter-dependentes em seus movimentos. Por exemplo, um veículo  $A$  altera sua velocidade para manter uma distância segura do veículo predecessor  $B$ ; e
- Há aspectos estocásticos que incluem o excesso de velocidade, ultrapassagem, mudança de pista e mudanças de velocidade drásticas causadas por um acidente ou congestionamento na rodovia.

Outro aspecto diferencial entre MANETs e VANETs são os desafios enfrentados por este último tipo de rede. As VANETs sofrem com problemas de congestionamento causados pelo roteamento em ambientes densos e altamente móveis. Construções como edifícios e a grande quantidade de veículos criam sombras de comunicação que resultam em rápidas mudanças na topologia da rede. Além disso, as VANETs exigem *QoS* (*Quality-of-Service*) para distinguir e priorizar mensagens de segurança que sejam intolerantes a atraso e mensagens tolerantes a atraso (OLARIU; WEIGLE, 2009).

As particularidades na mobilidade, velocidades e desafios enfrentados justificam estratégias diferentes nos algoritmos empregados em VANETs com relação aos utilizados em MANETs.

Recentemente, muitas pesquisas tem dado atenção a agrupamentos em VANETs. A maioria dessas pesquisas concentram-se no desenvolvimento de agrupamentos baseados em protocolo MAC, esquemas de roteamento e esquemas adaptados de agrupamentos de dados. Agrupamentos baseados em protocolo MAC são apresentados em (GUNTER; WIEGEL; GROSSMANN, 2007; SU; ZHANG, 2007; BONONI; FELICE, 2007) e agrupamentos baseados em esquemas de roteamento são apresentados em (WIEGEL; GÜNTNER; GROßMANN, 2007) e (SANTOS; SEED, 2003). Um exemplo de agrupamento baseado em protocolo MAC é descrito em (SU; ZHANG, 2007), no qual um líder assume o papel de gestor e facilita a comunicação dentro do agrupamento, proporcionando uma comunicação seletiva no tempo entre os membros do agrupamento, através da técnica TDMA (*Time Division Multiple Access*). Com relação a agrupamentos adjacentes, determinam-se diferentes códigos CDMA com o intuito de evitar interferências entre os agrupamentos. Este trabalho mostra uma redução substancial na probabilidade de falha de entrega de mensagens, quando comparado com o tradicional 802.11 MAC.

Tanto na estratégia com protocolo MAC, como em esquemas de roteamento, a manutenção do agrupamento funciona essencialmente da mesma maneira, na qual os nodos periodicamente transmitem mensagens de HELLO para indicar seu estado atual. Os possíveis estados podem ser uma das seguintes opções: *líder*, *gateway*, *membro* e *indeciso*. Um nodo no estado *indeciso* junta-se ao primeiro líder do qual ele receber uma mensagem de HELLO. Caso o nodo não receba nenhuma mensagem, então ele se tornará líder de si mesmo. Além disso, os algoritmos tratam a colisão de agrupamentos, situação que ocorre quando dois líderes estão dentro do raio de cobertura um do outro. Durante uma colisão, um líder decidirá ceder seu estado para outro líder. Esta técnica é utilizada por (SU; ZHANG, 2007) e (SANTOS; SEED, 2003) sem avaliar a mobilidade dos nodos envolvidos. Em (GUNTER; WIEGEL; GROSSMANN, 2007), a mobilidade é abordada durante a colisão, e o líder vencedor é aquele com menor mobilidade relativa e maior

proximidade com seus membros.

As técnicas de agrupamento apresentadas acima oferecem baixa complexidade, mas com relação ao ambiente altamente móvel das VANETs, estes são carentes de estabilidade nos agrupamentos referentes a critérios, como por exemplo, número de mudanças na liderança e número de reconfigurações. Os algoritmos não têm uma abordagem pró-ativa para a estabilidade do agrupamento, na medida em que eles não fazem nenhuma tentativa de selecionar um líder estável durante o processo de formação. A mobilidade do nodo deve ser levada em consideração, a fim de alcançar a estabilidade, no entanto muitas das técnicas propostas a ignoraram. Um exemplo, é o algoritmo apresentado em (GUNTER; WIEGEL; GROSSMANN, 2007), no qual a mobilidade é considerada como uma medida reativa, na medida em que só é considerada após dois agrupamentos colidirem.

Outras abordagens são as estratégias adaptadas de agrupamentos de dados e padrões de mobilidades em VANETs, conforme demonstrado em (WOLNY, 2008) e (SHEA, 2009). Em (WOLNY, 2008) propõe-se o algoritmo MDMAC (*Modified Distributed Mobility Adaptive Clustering*) que adapta partes de outro algoritmo chamado DMAC (*Distributed Mobility Adaptive Clustering*) para atender aos padrões de mobilidade de tráfego em rodovias. A diferença entre DMAC e MDMAC é essencialmente o procedimento realizado quando um nodo encontra um novo nodo ou recebe a mensagem de um líder. Por exemplo, se um nodo *A* recebe uma mensagem de HELLO de um novo nodo *B*, ele avaliará se este nodo é ou não líder. Caso, *B* seja líder e com parâmetros melhores que o atual líder de *A* diferentes procedimentos são empregados em DMAC e MDMAC. Em DMAC, uma vez atendida as condições anteriores, o nodo *A* solicita filiação imediatamente. Enquanto que em MDMAC, dois parâmetros essenciais devem respeitar limiares impostos no algoritmo, antes que haja uma requisição de filiação, que são: i) o tempo de conexão estimado entre os nodos e; ii) o ângulo entre os nodos.

Em (SHEA, 2009) é proposto o algoritmo APROVE (*Affinity PROPagation for VEhiclar networks*), derivado do *Affinity propagation* comumente utilizado na formação de agrupamentos de dados e processamento de imagem. Esta estratégia é baseada na ideia de agrupamentos de dados provida por *k-means* (MACQUEEN, 1967) em conjunto com a ideia de contenção de agrupamento de MOBIC. Neste algoritmo, os nodos enviam mensagens entre si, indicando a *affinity* atual que um nodo tem para escolher outro nodo como seu líder. A similaridade  $s(i, j)$  representa quão adequado o nodo  $j$  é o *exemplar* do nodo  $i$ . Este algoritmo tenta maximizar  $s(i, j)$  para todo nodo  $i$  e sua escolha de *exemplar*  $j$ . A mensagem de *affinity*, utilizada para calcular o valor de similaridade, inclui duas informações essenciais, que são a *availability*  $a(i, j)$  e a *responsibility*  $r(i, j)$ , que indicam o quão adequado os nodos

podem assumir o papel de líder e membro um do outro, respectivamente.

A função de similaridade utilizada em (SHEA, 2009) é uma combinação de distância euclidiana entre posições de nodos no momento do cálculo e suas respectivas posições (estimadas) no futuro. Além disso, todo nodo deve calcular os valores de *responsibility* e *availability* para cada um dos seus vizinhos baseado na função de similaridade e periodicamente repassar essas informações para todos eles. Os valores calculados necessitam ser amortecidos com valores anteriores para evitar oscilações numéricas e permitir que o algoritmo convirja.

Entretanto, o *Affinity Propagation* é uma métrica *memory-less*, ou seja, pode alterar completamente entre iterações sucessivas, o que torna o algoritmo negativamente afetado pelo armazenamento de valores, o qual pode atrasar respostas para mudanças abruptas na topologia da rede. Portanto, *Affinity Propagation* não provê a estabilidade necessária quando este lida com diversas mobilidades dos veículos, na qual as conexões possuem curta duração.

A seguir apresenta-se uma tabela comparativa entre as propostas de agrupamentos em redes MANETS e VANETs descritas nas seções anteriores. Nesta tabela procura-se indicar as principais características destes algoritmos.

Tabela 1 – Comparação dos diferentes algoritmos de agrupamentos

Proposta	Objetivo	Sobrecarga de comunicação	Necessidade de Processamento	Utiliza GPS\MAPA	Baseada em peso
<b>Lowest-ID</b>	Organizar a rede	Baixo	Baixo	Não	Não
<b>Highest-Degree</b>	Organizar a rede	Baixo	Baixo	Não	Não
<b>WCA</b>	Organizar a rede	Médio	Médio	Sim	Sim
<b>MDMAC</b>	Organizar a rede	Médio	Médio	Sim	Sim
<b>APROVE</b>	Organizar a rede e o acesso ao canal	Médio	Alta	Sim	Sim

## 2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os algoritmos para MANETs e VANETs, as estratégias adotadas e problemas enfrentados em cada proposta. Os algoritmos Lowest-ID, Highest-Degree e WCA são apresentados em detalhes. As estratégias nestes algoritmos serviram de base para o desenvolvimento do sistema de gerenciamento de agrupamentos SIGA e nos processos de manutenção, fusão e seleção deste.

No decorrer do capítulo foram descritas as particularidades que diferenciam MANETs e VANETs, como mobilidade e velocidade, que tornam as estratégias empregadas em MANETs inapropriadas para a formação de agru-

pamentos em VANETs. Os algoritmos para VANETs podem ser divididos em três categorias: baseados no protocolo MAC, esquemas de roteamento e estratégias adaptadas de agrupamentos de dados. Os principais algoritmos foram apresentados e descritos os problemas inerentes em cada um deles.

Os algoritmos para VANETs apresentados não avaliam seus desempenhos com relação a aspectos importantes de comportamento das redes VANETs, tais como congestionamento, sistema semafórico e variação repentina na densidade dos veículos.

No próximo capítulo, o sistema SIGA é introduzido. Este sistema de gerenciamento de agrupamentos para formação e manutenção de agrupamentos é base para o estudo e desenvolvimento das propostas de mecanismos de predição deste trabalho que visam o tratamento das influências de sistemas semafóricos e intersecções em agrupamentos de VANETs.





### 3 UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE AGRUPAMENTOS EM VANETS

No capítulo anterior foram apresentadas soluções para organização de agrupamentos em redes veiculares ad hoc. Entretanto estas soluções não tratam todos os aspectos relacionados à mobilidade e comunicação, tais como entrada e saída de veículos das vias, variações bruscas na densidade, quebra momentânea de enlaces, comumente encontrados na redes veiculares urbanas.

Com o intuito de preencher a lacuna deixada por estas soluções, SIGA (Sistema de Gerenciamento de Agrupamentos em Redes Veiculares), proposta em (CAMBRUZZI, 2013), propõe um sistema de gerenciamento de agrupamentos que utiliza comunicação em VANETs para coletar os dados dos veículos que estejam trafegando sobre as pistas de vias urbanas. Este sistema mostra-se eficiente diante dos desafios da comunicação em VANETs, pois se adapta as condições de mobilidade e ao ambiente de comunicação encontrados em cenários de tráfego urbano.

Os modelos e as estratégias definidas no sistema têm por objetivo o envio periódico dos dados individuais dos veículos que trafegam sobre uma determinada pista, para um ponto de coleta de dados instalado junto aos semáforos desta pista. Para atingir este objetivo, estabelece-se um modelo de organização hierárquica, que dividi-se em dois níveis: um modelo de comunicação e um modelo para a formação e manutenção de agrupamentos.

A Figura 3 apresenta os mecanismos que compõem o sistema SIGA.

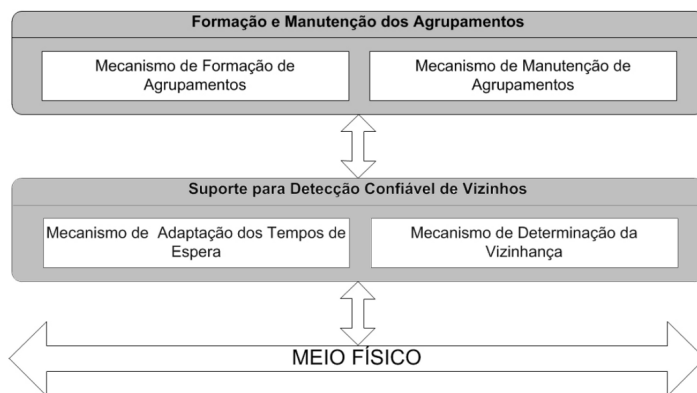


Figura 3 – Sistema SIGA

Uma visão geral do sistema SIGA com a descrição dos elementos básicos e premissas assumidas por este sistema são apresentados na Seção 3.1. Na Seção 3.2 é descrito o modelo de formação e manutenção de agrupamentos. Enfim, na Seção 3.3 descreve-se o suporte para detecção confiável de vizinhos que a partir de um conjunto de mecanismos permite que um nodo estabeleça uma vizinhança, além de tolerar atrasos das mensagens de comunicação.

Conforme descrito no capítulo de Introdução, esta dissertação é a continuidade da tese do Dr. Eduardo Cambuzzi que contribui com o desenvolvimento do sistema SIGA. Assim, este capítulo tem o objetivo de descrever de forma resumida as contribuições desta tese, que serviram de base para o desenvolvimento desta dissertação.

### 3.1 VISÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema SIGA é um modelo organizacional hierárquico de nodos, os quais unem-se em agrupamentos virtuais, que visam minimizar o impacto que a mobilidade tem sobre a comunicação criando agrupamentos mais estáveis. Esta organização reduz a sobrecarga de comunicação na rede e permite que os problemas de comunicação de um nodo sejam tratados localmente, ou seja, dentro do agrupamento.

Em SIGA existem dois tipos de nodos, os fixos e os móveis. Os nodos fixos estão instalados junto aos semáforos das vias, enquanto os nodos móveis representam os veículos que trafegam sobre estas vias.

Os nodos fixos atuam como pontos de coleta dos dados enviados pelos nodos móveis, não se filiando a nenhum agrupamento, enquanto, que os nodos móveis, organizam-se em agrupamentos, dos quais um dos nodos assume a função de *líder* e os demais nodos filiados ao agrupamento são denominados membros. Durante todo seu tempo de vida, o nodo assume um estado que indica sua função na rede ou no agrupamento.

Desta maneira, em um determinado instante, um nodo móvel assume um dos quatro estados descritos a seguir:

- **Indeciso:** O nodo que não pertence a nenhum agrupamento;
- **Líder:** Um nodo *líder* assume a função de armazenar e encaminhar periodicamente os dados dos demais membros do agrupamento para um nodo fixo instalado na via.
- **Membro:** Um nodo, ao filiar-se a um líder, assume o estado *membro* do agrupamento;

- **Membro-Gateway:** Um nodo membro que contenha um enlace de comunicação com um líder ou membro de outro agrupamento, este assume o estado de *membro-gateway*. Estes nodos são responsáveis pela comunicação entre agrupamentos e destes com os nodos fixos.

A comunicação entre os nodos ocorre por difusão de mensagens, periodicamente, a cada  $T_s$  segundos. Dois nodos que estejam dentro do raio de comunicação um do outro podem se comunicar diretamente entre si, ou seja, receber e enviar mensagens um do outro.

O raio de comunicação de um nodo  $i$  é denominado  $r_i$  e define uma área de cobertura de comunicação descrita por um círculo, no qual  $i$  encontra-se no centro e todos os nodos que estejam dentro deste círculo são denominados vizinhos ou membros da vizinhança do nodo  $i$ .

Cada mensagem de sinalização utilizada na comunicação entre os nodos, é composta por uma tupla de dados, e contém informações do nodo que a está difundindo e sobre sua vizinhança. Esta mensagem é utilizada pelos vizinhos deste nodo para determinar suas próprias ações, por exemplo, filiar-se a um líder ou mudar de estado.

Por fim, em SIGA assume-se que os nodos são equipados com emissores e receptores de rádio, dispositivo de localização GPS, um mapa digital das vias e um relógio local sincronizados via GPS, que representam o tempo através de uma sequência  $T$ .

## 3.2 FORMAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS AGRUPAMENTOS

A formação e manutenção de agrupamentos organiza hierarquicamente os nodos da rede. Este nível é composto por dois mecanismos: um mecanismo para formação e outro para a manutenção dos agrupamentos. O mecanismo de formação que une em um mesmo grupo, veículos com características semelhantes de velocidade, posição e sentido. Formado o agrupamento, mudanças nas condições do tráfego, ações individuais de motoristas ou a interferência de dispositivos como semáforos, podem causar partições, refiliações ou reconfigurações dos agrupamentos. O mecanismo de manutenção, procura aumentar a robustez do sistema, reduzindo os efeitos destes fenômenos sobre os agrupamentos.

### 3.2.1 Mecanismo de Formação do Agrupamento

A formação do agrupamento em SIGA, é realizada de maneira distribuída e ocorre quando um nodo *indeciso* percebe que não há um líder em

sua vizinhança com o qual possa se filiar. Neste instante, o nodo verifica se existem outros veículos *indecisos* em sua vizinhança e que estejam sobre a mesma pista que ele está trafegando. Assim que um nodo *indeciso* reconhece seu vizinhos, ele calcula para si um peso  $W_i$ . Este peso determina qual a qualificação que cada nodo tem para ocupar a função de líder em sua vizinhança.

Assume o estado de *líder* o nodo *indeciso* que possui o menor peso  $W$  entre seus vizinhos. Assim que os demais nodos *indecisos* percebem que há um líder em sua lista de vizinhos, estes solicitam filiação a ele e tornam-se nodos *membros*.

A formação dos agrupamentos possui um número máximo de membros  $\tau$ . A limitação no tamanho do agrupamento busca evitar que um líder tenha que lidar com todos os nodos dentro de seu raio de comunicação. Em cenários urbanos, principalmente próximo a cruzamentos ou semáforos, a densidade tende a aumentar muito, o que poderia levar a formação de agrupamentos com um elevado número de membros, degradando a comunicação entre o líder e estes membros.

Conforme descrito anteriormente, cada nodo  $i$  no estado *indeciso*, calcula seu peso  $W_i$  utilizando dados de seus vizinhos, também indecisos e na mesma pista. Estes dados estão armazenados em sua lista de vizinhos, que contém as informações dos vizinhos a 1 e a 2 saltos de comunicação. Entretanto, uma vez formado o agrupamento, apenas o nodo líder usa a função  $W$  para calcular o peso de cada um de seus membros. O nodo líder calcula o peso dos membros em relação ao demais componentes do agrupamento e usa este peso para definir se deve ou não transferir a liderança para outro *membro* do agrupamento.

A função  $W$ , utilizada para calcular o peso de cada nodo, é mostrada a seguir.

$$W_i = w_1.C_i + w_2.V_i \quad | \quad \sum w_i = 1, \quad (3.1)$$

na qual, a componente  $C_i$  indica a centralidade de um veículo e em relação aos demais vizinhos na pista e  $V_i$  a velocidade relativa média entre ele e estes mesmos vizinhos.

As constantes  $w_1$  e  $w_2$  determinam a influência de cada uma das componentes no cálculo do peso  $W_i$ , de modo que, é possível priorizar um fator em relação ao outro. Em cenários urbanos, por exemplo, nos quais há muita interferência na comunicação, priorizar a centralidade permite que se obtenha uma melhor distribuição do sinal entre o líder e seus membros, reduzindo refiliações, atrasos e partições na rede.

Para calcular a centralidade  $C_i$  de um nodo em relação aos seus vizinhos, utiliza-se a seguinte equação.

$$C_i = \frac{1}{n} |max(d_{(i,j)}) - max(d_{(i,j')})| \quad (3.2)$$

na qual,  $i, j, j'$  são vizinhos na mesma pista,  $max(d_{(i,j)})$  e  $max(d_{(i,j')})$  indicam, respectivamente, as distâncias entre o nodo  $i$  e seus vizinhos  $j$  e  $j'$ , longitudinalmente mais afastados em relação ao comprimento da via.

Utilizando a função  $C_i$ , cada veículo calcula sua distância em relação ao centro de sua vizinhança, sendo que, quanto menor valor de  $C_i$ , mais próximo ao centro de sua vizinhança este veículo está e, portanto, melhor será sua distribuição de sinal e área de cobertura em relação aos demais.

Com a componente  $V_i$  calcula-se a velocidade relativa média entre um veículo  $i$  e seus vizinhos  $j$  na mesma pista. Quanto menor o valor em  $V_i$ , menor a velocidade relativa que o veículo  $i$  tem em relação aos seus vizinhos. O valor  $V_i$  é obtido a partir da equação abaixo:

$$V_i = \frac{1}{n} \sum |v_i - v_j|, \quad (3.3)$$

na qual,  $v_i$  e  $v_j$  são respectivamente a velocidade instantânea de  $i$  e a última velocidade recebida através das mensagens de sinalização do vizinho  $j$  e  $n$  é o número de vizinhos na mesma pista e cujo estado é *Indeciso*.

Assim que o nodo tenha calculado e difundido seu peso  $W_i$ , ele aguarda a próxima sinalização, na qual ele recebe os pesos de seus vizinhos a um salto de comunicação. Neste momento, cada veículo identifica se é o mais qualificado para ocupar a função de líder em sua vizinhança. No entanto, ele aguarda mais um período de sinalização, no qual recebe os pesos de seus vizinhos a dois saltos de comunicação, ou seja, dos vizinhos de seus vizinhos a um salto de comunicação.

De posse destas informações, o nodo com menor peso  $W$  se torna líder, mudando seu estado. Já os demais nodos *indecisos* solicitam filiação ao líder dentro de sua vizinhança a um salto de comunicação. Este processo se repete, até que não existam mais nodos *indecisos* sobre a pista.

Uma vez que o nodo  $i$  tenha calculado seu peso e recebido os pesos de seus vizinhos a um e a dois saltos de comunicação, ele executa o algoritmo de formação de agrupamentos descrito no Algoritmo 1, a seguir.

No Algoritmo 1, o nodo  $i$  cujo estado é *indeciso*, após identificar todos os vizinhos da vizinhança que estejam na mesma pista (linha 2), verifica se há um nodo vizinho na lista  $N_i \leftarrow$  que esteja no estado líder e que ainda não tenha ultrapassado o limite de membros no agrupamento  $\tau$  (linha 3 e 4). Caso algum nodo líder atenda estas condições, o nodo  $i$  solicita filiação com o líder  $j$  (linha 5).

Caso contrário, na ausência de nodos líderes na vizinhança, o nodo

---

**Algoritmo 1:** Algoritmo de formação dos agrupamentos.
 

---

```

1 início
2    $N_i \leftarrow$  vizinhos  $j$  na mesma pista que o nodo  $i$ 
3   se (estado do nodo  $i$  é Indeciso) então
4     se (Existe um líder em  $N_i$ ) e (Membros no agrupamento  $< \tau$ ) então
5       | Filiação( $i \rightarrow j$ )
6     senão
7       | CalculaPesoW
8       se ( $(W_i < W_j)$  ou  $((W_i \leq W_j) \text{ e } (i < j))$ ) então
9         | estado = Líder
10        | lider =  $i$ 

```

---

$i$  calcula seu peso  $W$  e verifica se possui o menor peso entre seus vizinhos também indecisos. Caso exista um empate entre nodos de menor peso, aquele com o menor  $Id$  se elegerá líder na vizinhança. Assim, o nodo com menor peso  $W$ , se considera líder alterando seu estado para líder (linhas 6 a 10).

Este algoritmo é executado até que não existam mais membros indecisos sobre a pista. O mecanismo de formação de agrupamentos não é periódico, sendo invocado apenas quando o veículo entra na via e não encontra um líder com o qual possa se filiar.

Assim que um nodo deixa de ser *indeciso*, o nodo passa a executar as estratégias contidas no mecanismo de manutenção do agrupamento, descrito a seguir.

### 3.2.2 Mecanismo de Manutenção do Agrupamento

O mecanismo de manutenção proposto por SIGA é composto por três algoritmos: i) algoritmo de transferência de liderança; ii) algoritmo de fusão de agrupamentos; e algoritmo de refiliação. Na etapa de manutenção do agrupamento, o nodo executa tarefas de acordo com seu estado. Os membros monitoram a vizinhança verificando se podem se tornar nodos *membro-gateways* ou vão em busca de um líder mais adequado, com o qual possam se refiliar.

Enquanto isso, o líder verifica se deve transferir sua liderança para um membro mais qualificado para a função ou se o seu agrupamento encontra-se sobreposto a um agrupamento vizinho e, portanto, se deve realizar uma fusão de agrupamentos.

A seguir os algoritmos do mecanismo de manutenção na plataforma SIGA são descritos.

## Algoritmo de transferência de liderança

No ambiente de tráfego, os agrupamentos tendem a se deformar, por exemplo, todos os membros podem se posicionar à frente ou atrás do líder, se dispersarem até o limite do raio de comunicação e se aproximarem uns dos outros. Este fenômeno é bastante comum em cenários de tráfego urbano, devido a ação de semáforos ou cruzamentos, ocasionando uma deformação no agrupamento.

As deformações do agrupamento reduzem a eficiência da distribuição do sinal e colaboram para o aumento de quebras de enlace e refiliações.

Através da estratégia de transferência de liderança, o sistema SIGA pretende manter, na liderança do agrupamento, o membro mais qualificado, segundo os critérios da função de peso  $W$  e, com isso, aumentar sua estabilidade reduzindo o número de reconfigurações, de refiliações e aumentando o tempo de duração dos agrupamentos.

O algoritmo de transferência de liderança é executado pelo líder do agrupamento, o qual calcula periodicamente o peso  $W$  para cada membro de seu agrupamento e verifica se há algum vizinho mais qualificado do que ele próprio para assumir a liderança, e caso haja ele transfere a liderança para o vizinho com o menor peso.

Devido à dinâmica do tráfego, o peso  $W$ , calculado pelo líder, pode se alterar rapidamente, causando sucessivas transferências de liderança. Para evitar que isto ocorra, um líder só transfere sua liderança para um membro cujo peso seja menor além de um limiar  $W_{Th}$ .

O algoritmo de transferência de liderança é apresentado a seguir.

---

### Algoritmo 2: Algoritmo de transferência de liderança

---

```

1 início
2   se (estado do nodo  $i$  é Líder) então
3     Calcular o peso  $W_j$  para cada membro  $j$  do agrupamento
4      $NovoLider \leftarrow \text{Min}[(\forall j : W_j < (W_i * W_{Th})) \text{ e } j \text{ reconhece}$ 
       os membros filiados ao líder  $i$ );
5     se (Existe um  $NovoLider$ ) então
6        $\lfloor \text{Transferencia}(i \rightarrow NovoLider)$ 

```

---

No Algoritmo 2, o nodo que assume o estado de líder calcula periodicamente o peso  $W$  de cada um dos seus membros do agrupamento, como representam as linhas 2 e 3. Assim que o líder  $i$  reconhece que há um membro melhor qualificado para ocupar sua função, respeitando o limiar  $W_{Th}$ , (linha

4), o líder então executa a função *transferência de liderança* (linhas 5 e 6), que define o repasse de transferência para o novo líder.

### Algoritmo de fusão de agrupamentos

Devido a grande mobilidade dos nodos e os aspectos de comunicação nas VANETs, podem ocorrer partições na rede, ocasionando a formação de novos agrupamentos a partir dos já existentes.

Para muitas aplicações, tal como, roteamento baseado em agrupamentos, que utilizam os líderes como nodos intermediários na construção das rotas, o aumento do número destes líderes implica no aumento no número de saltos, o que eleva o atraso na comunicação fim a fim, degradando a comunicação na rede.

Sob este ponto de vista, o objetivo do algoritmo de fusão é reduzir o número de agrupamentos sobre a pista, unindo os membros de dois agrupamentos sob um mesmo líder. Contudo, a fusão de dois agrupamentos somente ocorre quando os seguintes critérios são atendidos: i) os dois líderes envolvidos na fusão reconhecem todos os membros um do outro, ou seja, suas áreas de cobertura de sobrepõem e, ii) a soma dos nodos que compõem ambos os agrupamentos, não supera o limite máximo de membros definido no modelo.

Na fusão de agrupamentos, um líder  $i$  com menor número de membros (*menor cardinalidade*), filia-se a um líder  $j$  com o maior número de membros (*maior cardinalidade*), desde que respeitado o número máximo de membros em um agrupamento. Uma vez que um dos líderes tenha se filiado ao outro, seus membros também buscam se refiliar a este novo líder. As etapas para a fusão de dois agrupamentos são apresentadas no algoritmo a seguir.

---

#### Algoritmo 3: Algoritmo de fusão de agrupamentos.

---

```

1 início
2    $N_i \leftarrow$  vizinhos  $j$  na mesma pista que o nodo  $i$ 
3   se (estado do nodo  $i$  é Líder) então
4     se (( Existe um líder  $j$  em  $N_i$ ) e ( $ValidaLider(i,j)$ )) então
5       |    $Filiação(i \rightarrow j)$ 
6     senão
7       se ( $VerificaFusão(i,j)$ ) então
8         |    $Filiação(i \rightarrow j)$ 
9       senão
10      |   Mantém líder atual

```

---



O Algoritmo 3, descreve os passos executados pelo líder e membros para a fusão de agrupamentos vizinhos. Os passos executados pelo nodo líder  $i$  durante o processo de fusão, são descritos a seguir:

1. Um líder  $i$ , inicialmente identifica todos os seus vizinhos (linha 2);
2. Em seguida, o nodo  $i$  verifica se existe sob a mesma área de cobertura de comunicação um vizinho líder  $j$ , como mostrado na linha 4;
3. Através da função  $ValidaLider(i,j)$ , o líder  $i$ , identifica se possui um número menor de membros com relação ao líder  $j$  e se todos os membros de seu agrupamento fazem parte da vizinhança do líder  $j$ , ou seja, se ambos os agrupamentos estão sobrepostos.
4. Nesta mesma função, o líder avalia se a fusão não ultrapassará o número máximo de membros  $\tau$ ;
5. Caso as condições acima sejam respeitadas, o líder  $i$  solicita filiação ao líder  $j$  (linha 5); e
6. O nodo  $i$  que solicita a filiação, aguarda as próximas sinalizações, para identificar se o líder  $j$  aceitou-o como membro e, só então, muda seu estado para *membro* e adota  $j$  como líder.

Enquanto isso, o processo de fusão exige que os membros realizem as seguintes atividades:

1. Um membro verifica, periodicamente, se seu líder está em processo de fusão, através do recebimento das mensagens de sinalizações que indicam que este se mantém no estado de *líder* mas tem em  $C_{hj}$  o *Id* de outro líder.
2. Assim que o membro percebe que seu líder é membro de outro agrupamento do qual havia solicitado filiação, expressas na função  $VerificaFusão(i,j)$ , este nodo solicita filiação ao novo líder (linhas 7 e 8);
3. O nodo aguarda a próxima sinalização pela confirmação da requisição de filiação. Caso, sua filiação não tenha sido aceita, ele busca filiação a outro líder na vizinhança ou assume o estado *indeciso* e executa o algoritmo de formação; e
4. Por fim, se o nodo identifica que seu líder não está em processo de fusão, este mantém a filiação com o atual líder (linha 10).

## Algoritmo de refiliação

A estratégia de refiliação é o processo pelo qual o nodo membro decide mudar de agrupamento, filiando-se a outro líder. Esta decisão ocorre quando o nodo membro perde contato com seu líder ou se este percebe que há outro líder na vizinhança mais qualificado, segundo uma grau de conectividade  $G_c$ .

Assim, uma vez filiado a um agrupamento, o nodo membro calcula o grau de conectividade  $G_c$  para cada líder em sua lista de vizinhos. Caso identifique que há um líder na mesma pista, com o qual possa se filiar e cuja conectividade  $G_c$  seja maior que o de seu atual líder, este nodo solicitará refiliação ao novo líder, desde que o número de membros deste agrupamento não ultrapasse o limite de membros  $\tau$ .

No entanto, devido a dinâmica das VANETs, é possível que ocorram mudanças muito rápidas no valor deste peso, levando a constantes refiliações de um membro entre dois líderes em sua vizinhança. Para evitar isso, define-se que um nodo se refiliará somente após o grau de conectividade do novo líder ultrapassar um limiar  $G_{Th}$  em relação ao peso de seu líder atual.

O grau de conectividade  $G_c$  que o *membro*  $i$  calcula para cada líder  $j$  em sua vizinhança é formado por três componentes: i) a estimativa de duração do enlace, componente  $S$ ; ii) uma relação entre o período de sinalização e o atraso na entrega destas sinalizações, componente  $F$  e iii) a quantidade de mensagens perdidas, componente  $E$ .

O cálculo do grau de conectividade  $G_c$ , executado pelos nodos *membro* para cada um dos líderes em sua lista de vizinhos  $N_i$ , é apresentado a seguir.

$$G_c = c_1.S + c_2.F + c_3.E \quad | \quad \sum c_i = 1 \quad (3.4)$$

Na Equação 3.4, a componente  $S$  faz uma estimativa da duração do enlace entre dois nodos  $i$  e  $j$ . Para isso, estabelece uma relação entre o raio de comunicação atribuído a cada nodo, a distância entre estes nodos e a sua velocidade relativa, como mostra a equação abaixo.

$$S = \frac{r_i - d_{(i,j)}}{v_r} \begin{cases} v_r = (|v_i - v_j|) & \text{se } |v_i - v_j| \geq 1 \\ v_r = 1 & \text{se } (|v_i - v_j|) < 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

na qual,  $r_i$  é o raio de comunicação do veículo  $i$ ,  $d_{(i,j)}$  é a distância entre os nodos  $i$  e  $j$  e  $v_r$  a velocidade relativa entre estes nodos.

O tempo estimado da duração do enlace entre um membro e seu líder é uma componente importante na manutenção da estabilidade do agrupamento, pois contribui para reduzir as quebras de enlace e o número de refiliações,

aumentando a estabilidade do agrupamento.

A componente  $F$  da Equação 3.4 é calculada a partir de relação entre o período de sinalização  $T_S$  e o atraso de comunicação médio  $A_{(i,j)}$ , como se pode ver a seguir.

$$F = T_S - A_{(i,j)} \quad (3.6)$$

Através da Equação 3.6, o nodo *membro* identifica entre os líderes na vizinhança aquele cuja comunicação ofereça menor atraso em relação ao período de sinalização. Com isso, pretende-se que o membro se refilie a um líder cujo enlace de comunicação seja o melhor possível, evitando o aumento do atraso na comunicação ou quebras momentâneas de enlaces, fatores que prejudicam o bom funcionamento de muitas aplicações ITS.

A componente  $E$ , calcula o percentual de mensagens de sinalização enviadas pelo líder e que foram perdidas pelo membro. Conta-se como uma mensagem perdida, quando um *membro*  $i$  não recebe uma sinalização direta do líder  $j$ , mas identifica, através das mensagens recebidas de outro membro do agrupamento, que este líder ainda está ativo e dentro de sua área de cobertura de comunicação.

Do mesmo modo que o atraso, quanto menor o número de mensagens perdidas, melhor a qualidade do enlace entre estes dois nodos e mais qualificado é o líder. A equação a seguir mostra como a componente  $E$  é calculada.

$$E = 1 - \frac{m_p}{n}, \quad (3.7)$$

na qual,  $m_p$  é o número de mensagens diretas que um nodo  $i$  não recebeu de seu vizinho  $j$  nos  $n$  últimos períodos de sinalização.

Por fim, na Equação 3.6, as constantes  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$ , determinam a influência de cada uma das componentes que formam o grau de conectividade  $G_c$ , de modo a ser possível priorizar um fator em relação ao outro.

Utilizando a Equação 3.4, cada *membro* de um agrupamento verifica se existe, em sua vizinhança, um líder mais adequado com o qual deva se refiliar. Toda vez que um nodo perde seu líder ou encontra um candidato a líder dentro de sua vizinhança, ele executa os passos abaixo.

As etapas realizadas por um nodo membro para a refiliação a um novo líder, são apresentadas no pseudo-código no Algoritmo 4, a seguir.

No Algoritmo 4, o membro  $i$  identifica e armazena na lista  $N_i$  todos os nodos vizinhos que trafegam na mesma pista (linha 2). Caso o nodo  $i$  seja um *Membro* ou um *Gateway* de um agrupamento, este avalia se existem nodos líderes entre seus vizinhos (linhas 3 e 4) e se estes existem, calcula o grau de conectividade  $G_c$  de cada um deles (linhas 5 e 6). Em seguida, através da função *nextMax()* (linha 7), o nodo identifica o líder  $j$  com maior peso  $G_j$  e

---

**Algoritmo 4:** Algoritmo de refiliação.
 

---

```

1 início
2    $N_i \leftarrow$  vizinhos  $j$  na mesma pista que o nodo  $i$ 
3   se (estado do nodo  $i$  é Membro ou Gateway) então
4     se (Existe um líder  $j$  em  $N_i$ ) então
5       para cada (líder  $j$  em  $N_i$ ) faça
6          $G \leftarrow$  CalculaGc( $i, j$ )
7          $novoLider = nextMax(G_c \in G)$ 
8         se ( $novoLider \neq$  líder atual) então
9           Filiação( $i \rightarrow novoLider$ )
10      senão
11      nodo  $i$  assume estado Indeciso

```

---

verifica se: i) o peso  $G_j$  é maior do que o peso de seu líder atual; ii) o peso  $G_j$  ultrapassa o limiar  $G_{TH}$  definido no modelo e; iii) o número de membros filiados a este líder é menor que o número máximo de membros  $\tau$ . Caso todas as condições sejam atendidas, o membro  $i$  solicita filiação a este líder (linhas 8 e 9). Finalmente, se um nodo perde contato com seu líder atual e não consegue se refiliar com outro líder, ele assume estado de *indeciso* (linha 11), e posteriormente executará o Algoritmo de Formação.

### 3.3 SUPORTE PARA DETECÇÃO CONFIÁVEL DE VIZINHOS

Além da mobilidade, o meio no qual ocorre a comunicação entre os nodos em uma rede veicular é um importante fator de instabilidade destas redes. Com o intuito de reduzir o impacto que a comunicação tem na manutenção dos agrupamentos, SIGA propõe um modelo de comunicação adaptado às VANETs. Neste modelo apresentam-se estratégias para minimizar o impacto que atrasos na comunicação, perda de mensagens e quebras momentâneas de enlaces, têm sobre o modo como cada nodo reconhece e mantém sua lista de vizinhos.

#### 3.3.1 Modelo de Comunicação

A comunicação entre os nodos em SIGA ocorre por difusão contínua de mensagens de sinalização (*hello*), a cada  $T_s$  segundos, que contém uma

tupla de dados do nodo emissor utilizada pelos vizinhos para identificação e determinação das tarefas dos mecanismos de formação e manutenção do sistema SIGA. Dois nodos que estejam dentro do raio de comunicação um do outro, podem se comunicar diretamente entre si. O raio de cobertura de comunicação  $r_i$  de um nodo  $i$ , define uma área de cobertura de comunicação.

Conforme descrito na Seção 3.1, em SIGA assume-se que cada nodo está equipado com um dispositivo de localização (*Global Position System* - GPS) e um mapa digital das vias. Este sistema provê ao nodo  $i$  um relógio local, na qual, um instante de tempo  $t^k$  é um elemento de  $T$  e  $t_i^k$  representa a  $k$ -ésima mensagem de sinalização difundida por um nodo  $i$ .

As mensagens de sinalização periodicamente difundidas pelos nodos, são um conjunto de campos que carregam informações do nodo que difunde e informações de seus vizinhos. Os campos  $Id_i$ ,  $v_i$  e  $x_i, y_i$  são respectivamente o identificador único associado a cada nodo  $i$ , sua velocidade instantânea e suas coordenadas no GPS no instante  $t_i^k$ , o qual indica o momento em que esta mensagem foi gerada na camada de aplicação. O peso  $W_i$  é um valor real entre 0 e 1 que indica qual a viabilidade do nodo  $i$  ocupar a função de líder de um agrupamento, conforme discutido na Seção 3.2.1.

O campo  $C_{hi}$  contém o identificador do nodo líder do agrupamento a quem ele pertence ou zero, caso seu estado seja *indeciso* e ele não pertença a nenhum agrupamento. Cada nodo difunde seu estado através do campo  $C_{fi}$ .

Finalmente, o campo  $N_{bi}$  contém uma lista de informações sobre todos os vizinhos  $j$  na mesma pista do nodo  $i$ .

### 3.3.2 Mecanismo de determinação da vizinhança

O mecanismo de *determinação da vizinhança* faz com que cada nodo adapte o tempo de espera da próxima mensagem de sinalização, utilizando para isto, informações sobre a mobilidade dos veículos. O mecanismo almeja reduzir o número de remoções equivocadas de nodos da lista de vizinhos, diminuindo a possibilidade de que um nodo conte com serviços de vizinhos que já não podem atendê-lo, como, por exemplo, filiando-se a um líder com o qual não há mais um enlace de comunicação ou que este seja instável.

A correta determinação de quais vizinhos estão ativos dentro da área de cobertura de comunicação de um nodo, colabora para a formação de agrupamentos mais estáveis, reduz o número de filiações e refiliações causadas pela mobilidade e atrasos e perda de mensagens entre os processos. Para isso, o *mecanismo de determinação de vizinhança* é constituído por dois algoritmos: o *algoritmo de atualização de vizinhança* e o *algoritmo de detecção de conectividade*.

O primeiro destes algoritmos, o algoritmo de atualização de vizinhança é representado em pseudocódigo no Algoritmo 5, enquanto que o algoritmo de detecção de conectividade é discutido na próxima seção.

---

**Algoritmo 5:** Algoritmo de atualização da vizinhança.

---

```

1 início
2    $t_i^{send} \leftarrow 0$  /* sinalização anterior*/
3   repita
4     se (receber mensagem de sinalização) então
5       | Atualizar dados na lista de vizinhos
6     para (todos os vizinhos  $j$ ) faça
7       |  $t_j^{last} \leftarrow$  timestamp mais recente recebido do nodo  $j$ 
8       |  $t_j^{nb} \leftarrow$  timestamp mais recente contido no campo  $Nb$ 
9       |  $t_j^{rec} \leftarrow \text{Min}(t_j^{rec}, t_j^{nb})$  /* timestamp mais recente */
10      se (timeout  $\beta_{(i,j)}$  expira) então
11        | se  $((t_i^k - t_j^{rec} \leq \beta_j)$  ou  $(DC_{(i,j)})$ ) então
12          |  $\beta_{(i,j)} \leftarrow$  Calcular novo tempo de espera
13        senão
14          | Remover nodo  $j$  da lista de vizinhos
15      se  $(t_i^k - t_i^{send} \geq T_k)$  então
16        |  $t_i^{send} \leftarrow t_i^k$ 
17        | Montar a mensagem de sinalização
18        | Difundir mensagem de sinalização
19 até sempre;
```

---

O Algoritmo 5 implementa três funcionalidades simultaneamente. Na primeira funcionalidade, (linhas 4 e 5), atualiza-se a lista de vizinhos  $N_i$  a partir das mensagens de sinalização recebidas dos outros nodos. A segunda, (linhas 6 a 14) é responsável pela recuperação ou pela eliminação de um nodo suspeito da lista de vizinhos. Nesta funcionalidade, quando o tempo de espera  $\beta_{(i,j)}$  expira, o nodo  $i$  avalia através do tempo de espera estimado  $\beta_j$  e a estimativa de validade do enlace  $DC_{(i,j)}$ , a permanência do nodo  $j$  em sua lista de vizinhos. As premissas avaliadas para o tempo de espera  $\beta_{(i,j)}$  são apresentadas nas Seções a seguir. A terceira, (linhas 15 a 18) realiza a geração e difusão de mensagens de sinalização de cada nodo  $i$ , cujo campos foram descritos na Seção 3.3.1.

### 3.3.3 Mecanismo de adaptação dos tempos de espera

A comunicação nas redes VANETs é normalmente realizada pela difusão periódica de mensagens. Entretanto, considerar que estas mensagens sempre cheguem de maneira periódica não condiz com um ambiente real. Atrasos na transmissão das mensagens ocorrem devido a disputa do meio de comunicação e perda de mensagens por colisões, constituem os principais fatores que influenciam na falta de periodicidade das mensagens na rede VANETs. Caso estes eventos não sejam tratados, podem ocasionar quebra de enlaces, reconfigurações e refiliações equivocadas dos agrupamentos.

Diante das dificuldades expostas, o sistema SIGA propõe que os nodos do agrupamento adaptem seus tempos de espera por uma sinalização de um vizinho, com o intuito de lidar melhor com as mudanças nas condições de comunicação da rede, reduzindo o número de enlaces perdidos e a necessidade de mudanças na topologia da rede.

Assim, no sistema SIGA, um nodo  $i$ , define um tempo de espera para que cada um de seus vizinhos  $j$  entregue a próxima mensagem de sinalização, calculado de acordo com a equação a seguir.

$$\beta_i = T_S + A_{(i,j)} + \Delta_{(i,j)}, \quad (3.8)$$

O tempo de espera, apresentado na Equação 3.8, é composto por  $T_S$  que é o período de sinalização, a componente  $A_{(i,j)}$  representa uma média dos atrasos das últimas sinalizações entre  $i$  e  $j$  armazenadas em  $NA_j^i$ . O cálculo desta componente, representado na Equação 3.9, é uma média quadrática, utilizada por ser mais sensível às mudanças de valores que outras médias.

$$A_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ a_{(i,j)} \right]^2}, \quad (3.9)$$

A última componente da Equação 3.8, tempo de espera, é o  $\Delta_{(i,j)}$ , o qual representa um tempo em segundos que varia em função da distância entre dois nodos vizinhos. O objetivo é minimizar o impacto que a distância entre dois vizinhos pode ter sobre o atraso entre duas sinalizações consecutivas, o seu cálculo é representado na Equação 3.10.

$$\Delta_j = \begin{cases} \alpha & \text{se } d(i,j) > r_i \\ \alpha + \left[ \rho \frac{d(i,j)}{r_i} \right] & \text{se } d(i,j) \leq r_i, \end{cases} \quad (3.10)$$

### 3.3.4 Detector de Conectividade

Além de adaptar o tempo de espera às condições do meio físico das redes veiculares, SIGA propõe um mecanismo para detectar a conectividade entre os nodos.

O detector de conectividade busca estimar a posição dos vizinhos, dos quais se tenha perdido alguma mensagem de sinalização e determinar se o nodo vizinho ainda se encontra em sua área de cobertura de comunicação. A estimativa de conectividade é realizada pelo Algoritmo 6.

---

#### Algoritmo 6: Detector de Conectividade

---

```

1 início
2   enlace ← Inválido
3    $t_i^k$  ← tempo atual em  $i$ 
4    $t_j^{last}$  ← último timestamp recebido do vizinho  $j$ 
5    $v_j^{last}$  ← última velocidade conhecida do vizinho  $j$ 
6    $P_i$  ← posição atual do nodo  $i$ 
7    $P_j$  ← última posição conhecida de  $j$ 
8   se  $((t_i^k - t_j^{last}) \leq NSt_h)$  então
9     /* Estima a nova posição de  $j$  sobre o mapa digital */
10     $P_{estimated}$  ← positionOnMap( $p_j, v_j^{last}, t_i^k, t_j^{last}$ )
11     $d_{estimated}$  ← differencePositionOnMap( $p_j, P_{estimated}$ )
12    /* O nodo  $i$  verifica se o vizinho  $j$  ainda se encontra na sua área de cobertura de
13     comunicação */
14    se  $(d_{estimated} \leq r_i)$  então
15      | enlace ← válido;
16    senão
17      | enlace ← inválido;

```

---

No Algoritmo 6, para estimar se um enlace de comunicação permanece válido entre dois vizinhos, um veículo  $i$  utiliza informações deste e as que já estão armazenadas na lista  $N_i$ . As informações utilizadas são: o tempo atual em  $i$ , a última posição e velocidade conhecidas do vizinho  $j$  e o *timestamp* da última sinalização deste vizinho que foi recebido pelo nodo  $i$  (linhas 2 a 7). Caso o *timestamp* das informações do nodo  $j$  respeite um limite de tempo  $NSt_h$  (linha 8), no qual consideram-se válidas as informações deste, realiza-se a estimativa da posição do nodo  $j$  através da função *positionOnMap*() (linha 10). Em seguida, é mensurada a distância estimada que há entre os nodos  $i$  e  $j$  através da função *differencePositionOnMap*() (linha 11). Se a diferença entre as posições de  $i$  e  $j$  for menor que o raio de comunicação do nodo  $i$ , este considera o enlace válido (linha 14), caso contrário o enlace será inválido (linha 16).



### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo descrevem-se uma visão geral da arquitetura e os mecanismos para a formação e manutenção dos agrupamentos do sistema SIGA. Estas estratégias permitem a formação de agrupamentos mais estáveis e adaptados às condições de mobilidade e comunicação encontradas no ambiente de tráfego urbano.

Apresenta-se também o modelo de comunicação com o qual cada nodo identifica e mantém sua vizinhança. Técnicas convencionais em VANETs costumam negligenciar o impacto que o meio físico tem sobre as estratégias de formação e manutenção dos agrupamentos. Entretanto, em SIGA, são utilizadas estratégias de comunicação que buscam se adaptar aos atrasos e quebras de enlaces, colaborando para o aumento da estabilidade dos agrupamentos.

Contudo, os cenários de tráfego urbano são constituídos de elementos que afetam o desempenho de SIGA, como por exemplo, os semáforos e regiões próximas as intersecções. Os semáforos ocasionam aglomerações e dispersões de nodos nas mudanças do estado do sinal, alterando significativamente a mobilidade dos nodos com consequências diretas na estabilidade dos agrupamentos. Além disso, as intersecções possibilitam a saída de nodos das pistas, acarretando em bruscas mudanças nas componentes de centralidade e velocidade, ocasionando reafiliações e reconfigurações na passagem do agrupamento por estas regiões.

Todavia, estes elementos que promovem perturbações na manutenção dos agrupamentos não são devidamente tratáveis no sistema SIGA. Portanto, prever a aproximação dos agrupamentos a estas regiões, e por conseguinte atuar antecipadamente na desagregação e coesão dos nodos, contribui à estabilidade na manutenção dos agrupamentos.

Nos próximos dois capítulos, serão apresentados mecanismos que heurísticamente realizam a predição nas regiões semaforicas e interseccionais, e a partir desta constatação, realizam tarefas que pretendem minimizar as perturbações causadas pela mudança de mobilidade nestas regiões.



## 4 AGRUPAMENTOS EM REGIÕES SEMAFÓRICAS

Dentre as aplicações disponíveis em VANETs, incluem-se sistemas semafóricos providos de comunicação sem fio, que proveem informações da região semafórica, tais como: localização, estado do sinal, tempo restante do sinal e geometria da intersecção. Tais informações, quando aplicadas pelos algoritmos de agrupamento, permitem antecipar os particionamentos que ocorrem nos agrupamentos, melhorando a estabilidade destes.

Neste capítulo, é apresentado um mecanismo que incluso no sistema SIGA, objetiva melhorar o desempenho e a estabilidade deste em vias urbanas com sistemas semafóricos, através da predição da aproximação a esta região. O mecanismo proposto fomenta ações que permitam a antecipação dos particionamentos, com o intuito de proporcionar maior equilíbrio e diminuir efeitos que prejudiquem a formação e manutenção de agrupamentos.

Na Seção 4.1, serão apresentados os aspectos que influenciam a formação e manutenção dos agrupamentos em SIGA, quando os agrupamentos se aproximam de regiões semafóricas. Em seguida, na Seção 4.2 é apresentado o mecanismo proposto que, utilizando-se das informações dos sistemas semafóricos e da mobilidade dos nodos da vizinhança, visa melhorar o desempenho do sistema SIGA, através da predição de particionamentos no agrupamento.

Por fim, na Seção 4.3, as modificações propostas no sistema SIGA são descritas e justificadas.

### 4.1 INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS SEMAFÓRICOS

Nesta seção é apresentado como sistemas semafóricos em vias urbanas influenciam a formação e a manutenção de agrupamentos no sistema SIGA. A análise comportamental apresentada a seguir, tem o objetivo de embasar o desenvolvimento de mecanismos que visam melhorar o desempenho, do ponto de vista de métricas de avaliação, e a estabilidade do sistema SIGA neste tipo de cenário.

As análises apresentadas baseiam-se em dois cenários básicos que utilizam o sistema SIGA. Os termos utilizados e as componentes relacionadas nas subseções a seguir são conceitos descritos no Capítulo 3.

### 4.1.1 Sistemas Semafóricos

Sistemas semafóricos têm a função de regular os fluxos de tráfegos que se movimentam em diferentes direções em um cruzamento. Regiões próximas a semáforos propiciam aglomerações de veículos em determinados instantes, devido a paradas obrigatórias causadas pela alternância de estados do sinal. Consequentemente, a alta densidade de nodos, em termos de comunicação, propicia uma melhora na conectividade da rede entre os veículos. Entretanto, a alta densidade favorece o aumento no número de colisões e perdas de pacotes, já que inúmeros nodos transmitem simultaneamente em uma pequena região da pista (CAMBRUZZI, 2013).

As atuações dos sistemas semafóricos, com a mudança periódica do estado do sinal (*verde, vermelho e amarelo*), tem impactos na formação e manutenção de agrupamentos, como: i) particionamento do agrupamento; ii) aumento no número de transferência de liderança; iii) fusões de agrupamentos incompletas; iv) lideranças de curto período de duração.

Estes impactos reduzem o desempenho dos algoritmos de formação e manutenção de agrupamentos e, conseqüentemente, prejudicam aplicações auxiliares, embutidas nos veículos, que se utilizam destes para a comunicação de dados e troca de informações. Como exemplo, pode-se citar aplicações dedicadas ao roteamento e disseminação de mensagens, que são afetadas diretamente quando há quebras de enlaces, provocadas pelo particionamento dos agrupamentos em regiões semafóricas. Este particionamento ocorre quando uma parcela dos veículos integrantes do agrupamento consegue ultrapassar o semáforo e outra não, no instante em que há uma transição do estado do sinal de *verde* para *vermelho*. A quebra de enlaces de comunicação entre os membros provoca deformações do agrupamento reduzindo a eficiência da distribuição do sinal, aumentando significativamente as perdas de mensagens, devido ao fenômeno de desvanecimento do sinal.

### 4.1.2 Exemplos de Cenários Semafóricos

Em SIGA, as vias urbanas providas de sistemas semafóricos são consideradas nos experimentos e seus impactos analisados sobre a formação e a manutenção dos agrupamentos. No entanto, o objetivo da avaliação descrita nesta subseção, é observar especificamente, como o comportamento da mobilidades dos nodos juntos as regiões semafóricas, influência nas componentes de centralidade  $C_i$  e velocidade  $V_i$ , constituintes do mecanismo de manutenção em SIGA. Estas componentes são os elementos determinantes na manutenção dos agrupamentos e, por isso, uma análise comportamental

propicia estimar como o sistema SIGA reage às inúmeras situações impostas pela aproximação dos agrupamentos as regiões semaforicas.

As mudanças de estados do sinal dos semáforos podem deformar a formação dos agrupamentos que trafegam nesta região. Entretanto, pode-se categorizar quatro grupos principais de cenários, quando os agrupamentos trafegam pela região semaforica, que são:

1. todos os membros do agrupamento ultrapassam o semáforo;
2. todos os membros do agrupamento param no semáforo;
3. nodo líder ultrapassa o semáforo junto com outros membros, enquanto que alguns membros param no semáforo; e
4. nodo líder para no semáforo junto com outros membros, enquanto que outros membros ultrapassam o semáforo.

Um agrupamento quando particionado pela transição para um sinal *vermelho* do semáforo (cenários 3 e 4) divide-se em dois grupos de veículos com características distintas de velocidade, pois enquanto alguns mantém suas velocidades de tráfego, outros reduzem a velocidade para parar no semáforo. Os valores das componentes  $C_i$  e  $V_i$  alteram-se bruscamente em todos os nodos do agrupamento neste momento, provocando instabilidades na formação do agrupamento, como aumento no número de transferências de liderança e refiliações. Além disso, a medida que os nodos se afastam um dos outros, os limites de comunicação são alcançados e provocam uma nova formação ou refiliação dos nodos, tanto no lado dos nodos que ficaram parados, quanto dos nodos que conseguiram ultrapassar o semáforo.

Por isso, as análises avaliam um agrupamento em dois cenários básicos que provocam o particionamento, cenários 3 e 4 descritos anteriormente. As análises comportamentais das componentes de centralidade  $C_i$  e velocidade  $V_i$ , apresentadas nas subseções a seguir servem de base para o desenvolvimento de estratégias que visem minimizar os impactos dos particionamentos dos agrupamentos provocados pela ação dos semáforos, contribuindo assim para a estabilidade destes.

#### **4.1.3 Particionamento do agrupamento com ultrapassagem do líder**

Neste cenário, o agrupamento é particionado com a atuação do sinal *vermelho* que permite que o líder do agrupamento e alguns membros ultrapassem, enquanto que outros param, conforme ilustrado na Figura 4.

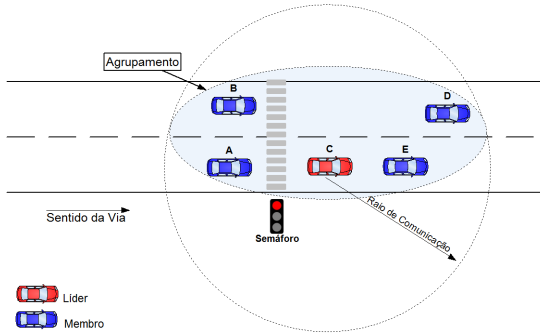


Figura 4 – Agrupamento particionado com líder ultrapassando o semáforo

Nota-se na Figura 4 que os nodos *A* e *B* devem diminuir a velocidade e parar no semáforo, enquanto que os nodos *C*, *D* e *E* continuam a trafegar, já que ultrapassaram o semáforo.

No momento em que as distâncias de afastamento dos nodos *A* e *B* atingirem o limite do raio de comunicação com relação ao líder *C*, estes irão procurar por novos líderes na vizinhança ou invocarão uma nova formação (transitam para o estado de *indeciso*). Enquanto isso, a desagregação dos nodos membros *A* e *B* é percebida pelo líder *C* com uma mudança brusca no cálculo da componente de centralidade  $C_i$ , pois o tamanho do agrupamento se restringirá, a partir deste instante, aos nodos *C*, *D* e *E*. Logo, os nodos membros que acompanharam o líder na ultrapassagem do semáforo e que estejam mais a frente deste, podem obter pesos de centralidade melhores que o atual líder e uma transferência pode ocorrer. A perda dos membros *A* e *B* que pararam no semáforo têm impacto direto no cálculo de centralidade devido a perda de membros na extremidade do agrupamento.

### Componente de centralidade $C_i$

O comportamento da componente de centralidade  $C_i$ , após a ruptura do agrupamento pelo semáforo, possui as seguintes características, de acordo com o grupo de nodos no agrupamento:

- **nodos que pararam no semáforo:** estes nodos já ultrapassaram o centro virtual<sup>1</sup> do agrupamento e a componente de centralidade aumenta

<sup>1</sup>Centro virtual corresponde ao local do agrupamento em que o cálculo do peso de centralidade  $C_i$  resulta no valor 0, ou seja, o nodo que possui a mesma distância para os nodos das extremidades do agrupamento (nodo vizinho mais a direita e mais a esquerda).

gradativamente no decorrer do tempo até o instante em que haja uma nova eleição, provocada pela perda na comunicação com o nodo líder. Este comportamento ocorre enquanto houver comunicação com o líder.

- **nodos que ultrapassaram o semáforo:** caso o nodo esteja depois do centro virtual do agrupamento, a componente de centralidade eleva-se gradativamente, similar ao comportamento dos nodos que param no semáforo. Entretanto, caso o nodo não tenha ultrapassado o centro virtual, a componente de centralidade diminui (tendendo à 0) até o instante de tempo em que estes nodos chegam ao centro do agrupamento. Neste momento, a componente de velocidade média  $V_i$  é a única a contabilizar no cálculo do peso  $W$  para este nodo.

As mudanças nos valores da componente de centralidade de nodos *membros-gateway*, podem provocar transferências de lideranças no agrupamento, já que estes membros momentaneamente possuem baixos valores de centralidade. A transferência de liderança nestes casos ocorre, mas a duração desta liderança será de curto tempo de duração pois, a medida em que os vizinhos que não ultrapassaram o semáforo começam a desagregar do agrupamento, a componente de centralidade volta a se alterar novamente.

### Componente de velocidade $V_i$

O particionamento do agrupamento causa um aumento gradativo da componente de velocidade relativa  $V_i$ , em todos os nodos, no decorrer do tempo. Este aumento é explicado pelas desacelerações dos nodos que param no semáforo levando a diferenciações significativas de velocidade com relação aos nodos que ultrapassaram e mantiveram suas velocidades.

A taxa de crescimento da componente  $V_i$  é influenciada pela localização do nodo logo após o particionamento do agrupamento. Caso o nodo esteja no segmento particionado do agrupamento que tenha a maioria dos nodos, a taxa de crescimento de  $V_i$  será menor em relação a outra parte particionada. Este comportamento explica-se pelo cálculo de velocidade relativa, o qual contabiliza a diferença de velocidade entre todos os nodos do agrupamento. Desta maneira, em situações em que o nodo  $i$  ultrapassa o semáforo e a maioria dos nodos também ultrapassa, a velocidade relativa altera-se apenas por causa da parada da minoria. Ao contrário, os nodos que permanecem na partição com a minoria possuem taxas de crescimento maiores, já que suas velocidades diferenciam-se com relação a maioria.

Entretanto, o aumento observado nas velocidades relativas neste tipo de cenário, não influencia significativamente no processo de transferência de liderança ou gera instabilidades no agrupamento durante o período de parti-

cionamento, já que esta componente aumenta para todos os nodos numa taxa similar.

#### 4.1.4 Particionamento do agrupamento sem ultrapassagem do líder

Neste cenário, ilustrado na Figura 5, o líder não ultrapassa o semáforo a tempo, enquanto que outros membros conseguem avançar.

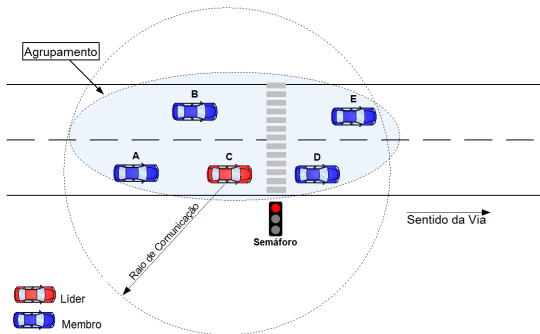


Figura 5 – Agrupamento particionado com líder que não ultrapassa o semáforo

#### Componente de centralidade $C_i$

O comportamento da componente  $C_i$  neste cenário, tanto para os nodos que pararam no semáforo (nodos  $A$ ,  $B$  e  $C$ ) quanto os que continuam trafegando (nodos  $D$  e  $E$ ) é similar ao comportamento descrito na Seção 4.1.3. Os nodos  $D$  e  $E$  que ultrapassam o semáforo possuem pesos de centralidade menores em relação aos nodos que param ( $A$ ,  $B$  e  $C$ ). A diferença substancial neste cenário deve-se a localização do líder  $C$  que neste caso, não ultrapassa o semáforo e, conseqüentemente, seu peso de centralidade torna-se maior em relação aos nodos que ultrapassaram. Desta maneira, a medida em que os nodos  $D$  e  $E$  se distanciam do semáforo, a componente de centralidade  $C_i$  destes nodos tende a diminuir o suficiente para ultrapassar o limiar do peso  $W$  e uma transferência de liderança ocorre neste agrupamento.

Em decorrência da transferência de liderança, os nodos membros que pararam no semáforo ( $A$  e  $B$ ) refiliam-se ao novo líder. Entretanto, esta filiação permanecerá por um curto período de tempo, devido ao afastamento que aumenta e que provoca a perda de comunicação ao atingir os limites do



raio de comunicação. Consequentemente, uma nova reconfiguração entre os nodos,  $A$ ,  $B$  e  $C$ , que pararam no semáforo, ocorre, formando um novo agrupamento.

### **Componente de velocidade $V_i$**

O comportamento da componente de velocidade  $V_i$  neste cenário também assemelha-se ao observado na seção anterior, na qual todos os nodos experimentam aumentos da velocidade relativa a medida em que há reduções de velocidades próximo ao semáforo. Conforme descrito anteriormente, o grau de influência desta componente no fator de decisão de transferências de liderança e refiliações no agrupamento é baixa nos cenários semaforicos, pois em cenários urbanos como este, normalmente opta-se por priorizar a centralidade do agrupamento que consequentemente torna menor a relevância e influências das variações da componente  $V_i$ , conforme descrito no Capítulo 3.

Por fim, o grau de influência, maior ou menor, dependerá da localização do nodo logo após o particionamento do agrupamento. Por exemplo, no caso do nodo  $i$  localizar-se junto ao subgrupo com maior número de nodos de um agrupamento particionado no semáforo, menores as influências nos valores da componente  $V_i$ , pois a velocidade de  $i$  tende a comportar-se similar a maioria dos nodos do agrupamento particionado.

## **4.2 MECANISMO DE PREDIÇÃO SEMAFÓRICA**

A aproximação do agrupamento em uma região semaforica propicia a deformação deste, que incluem: aglutinação de nodos, particionamento e desagregação de nodos membros. O particionamento do agrupamento no sistema SIGA, em particular, é responsável pelo aumento no número de refiliações e transferências de liderança, formação de novos agrupamentos, fusões incompletas ou de curta duração e instabilidades na manutenção dos agrupamentos. Estes aumentos estão relacionados às mudanças ocorridas nas componentes de centralidade e velocidade relativa devido a distribuição dos nodos do agrupamento e suas diferentes velocidades na pista, a medida que alguns nodos do agrupamento param no semáforo e outros continuam suas trajetórias, conforme analisado nas Seções 4.1.3 e 4.1.4.

De acordo com o problema exposto, este trabalho propõe um mecanismo de predição de particionamento de agrupamentos em regiões semaforicas. O objetivo deste mecanismo de predição é permitir que os agrupamentos que inevitavelmente são particionados pela ação do semáforo, reali-

zem este particionamento de maneira estável e antecipadamente a chegada ao semáforo, reduzindo os impactos normalmente provocados pela desagregação e movimentação de nodos nestas regiões.

O mecanismo que será descrito nas seções seguintes baseia-se nas informações das mensagens emitidas pelo semáforo e nodos do agrupamento para determinar se as condições avaliadas proporcionam uma ultrapassagem dos nodos do agrupamento ou não pelo semáforo e a partir disso tomar decisões nos mecanismos de formação e manutenção do sistema SIGA, que visem a estabilidade do agrupamento.

#### 4.2.1 Descrição do mecanismo

Os sistemas semafóricos assumidos neste trabalho são equipados com rádios transmissores que periodicamente difundem mensagens de sinalização que informam aos nodos em sua vizinhança o estado do sinal sob seu controle, e posicionamento deste e o tempo restante para o atual estado do sinal. A mensagem de sinalização enviada pelo sistema semafórico é composta pelos campos descritos na Tabela 2.

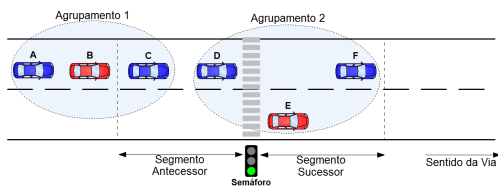
Tabela 2 – Campos em uma mensagem do sistema semafórico

Campo	Descrição
$Id_i$	Identificador do nodo (semáforo)
$x_i, y_i$	Posição do semáforo
$t_i^k$	instante em que a mensagem foi gerada
$s_i$	estado do sinal do semáforo $i$
$ts_i$	tempo restante do estado do sinal

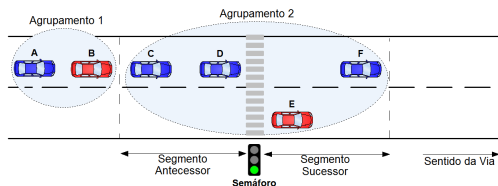
O mecanismo de predição semafórica vale-se das informações descritas nos campos da Tabela 2 para determinar se um nodo  $i$  consegue ultrapassar o semáforo a tempo, sem a necessidade de parada neste.

A Figura 6 ilustra um exemplo com os principais eventos da atuação do mecanismo proposto que culmina com a antecipação no particionamento de um agrupamento, conforme apresentado a seguir.

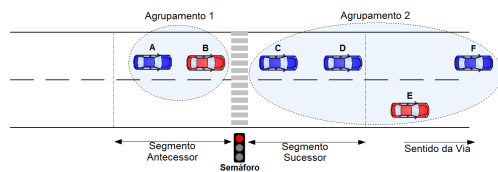
A antecipação do particionamento realizado por um nodo é alcançada a partir da avaliação de quais nodos em sua vizinhança devem ou não ultrapassar, a tempo, um determinado semáforo. A partir desta identificação, cada nodo considerará válido em sua lista de vizinhos, apenas aqueles vizinhos que acompanham-o pela região semafórica, restringindo qualquer interação com os vizinhos considerados inválidos, como: filiações, fusões ou transferências



(a) Os agrupamentos 1 e 2 trafegam por uma região semafórica com sinal *verde*



(b) O nó C avalia que o líder do agrupamento 1 não passará a tempo e refilia-se com o agrupamento 2



(c) O semáforo fecha, os nós do agrupamento 1 não ultrapassam e o agrupamento 2 atravessa por inteiro o semáforo

Figura 6 – Exemplo da atuação do mecanismo de predição

de lideranças.

Assim, a inferência direta da atuação deste mecanismo de predição é a antecipação dos particionamentos nos agrupamentos, promovendo a desagregação dos nodos antes da chegada ao semáforo. Diferentemente do comportamento imposto, com a utilização da estratégia SIGA, em que os particionamentos ocorreriam somente após a região semafórica, causados pela quebra no enlace de comunicação. Este particionamento antecipado é considerado benéfico, pelo fato de atuar no instante de tempo em que as velocidades relativas dos nodos não diferenciam-se tanto entre si, a ponto de deturpar a manutenção do agrupamento.

Entretanto, além de prever o particionamento dos agrupamentos em regiões semafóricas, o mecanismo realiza tratamentos que visam minimizar os impactos da aproximação e aglomeração dos agrupamentos junto aos semáforos. Por isso, o mecanismo é dividido em dois algoritmos princi-

país que atuam simultaneamente, que são: i) *determinação da vizinhança semafórica*; e ii) *compensação do limiar  $W_{Th}$* .

A determinação da vizinhança semafórica é um algoritmo composto por um conjunto de algoritmos que visam identificar os nodos vizinhos que devem ultrapassar a tempo um determinado semáforo e assim decidir pela desagregação antecipada. Enquanto isso, o algoritmo de compensação de limiar  $W_{Th}$ , visa diminuir as instabilidades, como aumento de refiliações e transferências de liderança, causadas pela aglomerações de nodos junto ao semáforo.

Por fim, os algoritmos do mecanismo de predição semafórica que fazem parte do sistema SIGA, atuam apenas no período em que o nodo  $i$  identificar que está numa região semafórica.

#### 4.2.2 Determinação da Vizinhança Semafórica

No momento em que um nodo adentra a região semafórica, este deve identificar os vizinhos que possuem o mesmo estado de ultrapassagem pelo sistema semafórico. Desta maneira, um nodo *membro*, por exemplo, pode evitar se filiar com um líder que não o acompanhará após a transição do sinal do semáforo. A determinação dos vizinhos na região semafórica tem o intuito de auxiliar os mecanismos de formação e manutenção na prevenção de má formações dos agrupamentos, mantendo nodos que inevitavelmente terão o enlace quebrado, causado pelo afastamento destes após o acionamento do sistema semafórico.

Para determinar os vizinhos válidos numa dada região semafórica, o nodo  $i$  deve identificar os vizinhos que compartilham o mesmo comportamento com relação a ultrapassagem ou não pelo semáforo. Ou seja, um nodo  $i$  que prevê parar no semáforo, não pode se manter filiado a um agrupamento cujo líder prevê que irá ultrapassar. No mesmo instante, um nodo líder que prevê que irá parar no semáforo, não deve iniciar uma fusão com outro agrupamento, que provavelmente irá ultrapassar este mesmo semáforo.

Entretanto, o objetivo almejado por cada nodo  $i$ , ao eliminar um nodo  $j$ , cujo comportamento não é semelhante ao nodo  $i$  na região semafórica, muda de acordo com o estado do nodo no agrupamento, como descrito a seguir:

- **Líder:** restringir fusões que, devido a possibilidade de particionamento, possuam curta duração. Além disso, manter agregados nodos membros que futuramente desagreguem pela ação do semáforo;
- **Membro e Membro-Gateway:** impedir filiações com nodos líderes que

inevitavelmente, no decorrer do tempo, irão perde contato ao atingir os limites de comunicação; e

- **Indeciso:** evitar filiação com líderes que não permitam a formação de um novo agrupamento durável.

A forma de identificação de que um nodo  $i$  está sobre uma região semaforica é realizada através do recebimento direto de mensagens de sinalização do semáforo. A recepção destas mensagens indica que o nodo  $i$  está próximo a um sistema semaforico  $s$  e o mecanismo de predição proposto neste trabalho deve ser executado. Assim, assume-se neste trabalho, que as regiões da via contempladas pelo raio de comunicação do semáforo são identificadas por segmentos da região semaforica, diferenciáveis por dois segmentos distintos e nomeados como: segmento antecessor e segmento sucessor.

O segmento antecessor abrange a região semaforica alcançável pelo raio de comunicação do semáforo e anterior a localização do sistema semaforico. Enquanto isso, o segmento sucessor corresponde a região semaforica posterior a localização do sistema semaforico e que esteja no raio de comunicação do semáforo.

A Figura 7, ilustra os dois segmentos<sup>2</sup> criados logicamente pelo raio de comunicação do sistema semaforico.

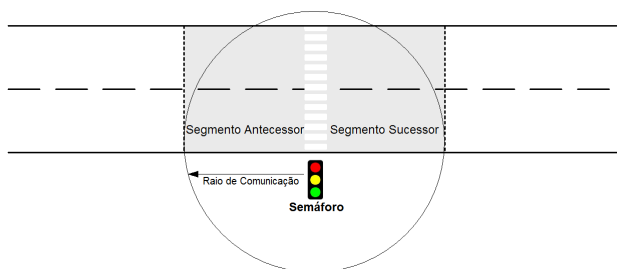


Figura 7 – Segmentos da Via

Uma vez que o nodo  $i$  identifica que está sobre uma região semaforica, este estima a ultrapassagem que ele e seus vizinhos possam realizar num determinado semáforo. O objetivo do Algoritmo 7, descrito a seguir, é determinar quais os vizinhos  $j$  que o nodo  $i$  pode considerar válido para os mecanismos de formação e manutenção, quando  $i$  localizar-se na região semaforica.

<sup>2</sup>No decorrer deste documento adota-se a seguinte nomenclatura: *segmento antecessor* e *segmento sucessor*, para identificar as regiões da via abrangidas pelo raio de comunicação do semáforo.

---

**Algoritmo 7:** Algoritmo de determinação da vizinhança semaforica
 

---

```

1 início
2   se  $((v_i \geq VSTh) \text{ e } (v_j \geq VSTh))$  então
3     /* Estima a ultrapassagem pelo semáforo  $s$  para nodos  $i$  e  $j$  */
4      $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Calcula  $DU_{(i,s)}$ 
5      $DU_{(j,s)} \leftarrow$  Calcula  $DU_{(j,s)}$ 
6     se  $(DU_{(i,s)} \neq DU_{(j,s)})$  então
7        $U_i \leftarrow$  Calcular  $U_i$ 
8       se  $(U_i \geq UTh)$  então
9         retorna Falso;
10        /* Haverá desagregação com o vizinho sob análise */
11      senão
12        retorna Verdadeiro;
13        /* Não há como afirmar se haverá desagregação com o vizinho sob
14        análise */
14    senão
15      retorna Verdadeiro;
16      /* Não haverá desagregação com o vizinho sob análise */
17  senão
18    retorna Verdadeiro;
19    /* Não há como afirmar se haverá desagregação com o vizinho sob análise */

```

---

Nota-se no Algoritmo 7, linha 2, que as análises de predição semaforica, que determinam a validade de um vizinho  $j$ , somente ocorrem se as velocidades dos nodo  $i$  e  $j$  forem superiores a um limiar determinado por  $VSTh$ . O limiar de velocidade semaforica  $VSTh$ , tem o intuito de evitar falsas detecções de ultrapassagem dos veículos pelo semáforo. Este limiar é um valor estimado de velocidade mínima necessária dos nodos, para que não ocorra predições errôneas que são causadas pela baixa locomoção dos veículos após a transição do sinal de *vermelho* para *verde*. Os valores adotados nesta dissertação para  $VSTh$  foram obtidos empiricamente, a partir da simulação e análise do comportamento do algoritmo de *Determinação da vizinhança semaforica* sob várias condições de tráfego em vias urbanas.

As falsas detecções ocorrem quando os nodos do agrupamento mais próximos do semáforo invalidam os vizinhos mais afastados, por causa da baixa locomoção em que estes últimos se encontram momentaneamente. Esta decisão, por vezes, mostra-se errônea já que no decorrer do tempo os vizinhos mais afastados do semáforo conseguem acelerar o suficiente para ultrapassar o semáforo a tempo, antes que ocorra uma transição de *verde* para *vermelho*.

No Algoritmo 7, linhas 3 a 6, são determinados se os nodo  $i$  e  $j$  conseguem ultrapassagem pelo semáforo  $s$ , através da calculo do *Detector de Ultrapassagem* que é armazenado nas componentes  $DU_{(i,s)}$  e  $DU_{(j,s)}$ . O *Detector de Ultrapassagem*, determinado pelo Algoritmo 8 na seção a seguir, calcula a partir da velocidade, posição e tempo restante do sinal do semáforo se o nodo

consegue realizar a manobra de ultrapassagem no semáforo  $s$ . Na comparação dos estados de ultrapassagem (linhas 6), o nodo  $i$  avalia se pode manter como válido na região semafórica o vizinho  $j$ , caso este tenha a mesma detecção de ultrapassagem  $DU_{(i,s)}$  e  $DU_{(j,s)}$ . Caso haja diferença entre as detecções de ultrapassagem semafórica avaliadas, o nodo  $i$  calcula o peso  $U_i$  através da Equação 4.3.

O peso  $U_i$  é um valor determinado, heurísticamente, para a manobra de ultrapassagem e tem a função de estimar o quão segura é a decisão do detector de ultrapassagem  $DU_{(i,s)}$ , já que mudanças na velocidade do nodo  $i$  poderiam, futuramente, mudar o valor do detector de ultrapassagem. Assim, a heurística que constitui o peso  $U_i$  é representada por duas componentes subjetivas que são: i) a atual distância do nodo  $i$  com relação ao semáforo  $s$ ; e ii) a distância de afastamentos após a finalização do tempo do atual estado do sinal. Através destas duas componentes estima-se um valor para a manobra de ultrapassagem, a qual deve ser superior ao limiar  $U_{Th}$ . O limiar  $U_{Th}$  é uma constante que estima um valor mínimo que a heurística calculada no peso  $U_i$  deve obter para indicar que a detecção de ultrapassagem, calculada em  $DU_{(i,s)}$ , será cumprida pelo nodo  $i$ .

No caso do nodo  $i$  avaliar que o peso  $U_i$  é superior a  $U_{Th}$ , linha 8, então o nodo  $i$  certifica-se que o valor calculado pelo detector de ultrapassagem é seguro e invalidará o vizinho  $j$ . Invalidar o vizinho  $j$  na região semafórica significa que o nodo  $i$  não considera  $j$  válido para as análises dos mecanismos de formação e manutenção do agrupamento, como fusão e formação, enquanto este estiver sobre uma região semafórica.

### 4.2.3 Detector de ultrapassagem semafórica

A estimativa de ultrapassagem de um nodo  $i$  por um semáforo  $s$  depende, essencialmente, de quatro componentes: i) a velocidade instantânea do nodo  $i$ ; ii) a distância do nodo  $i$  com relação ao semáforo  $s$ ; iii) o atual estado do sinal do semáforo  $s$ ; e iv) o tempo para que o atual estado do sinal termine. Através destas componentes pode-se determinar com relativa precisão a ultrapassagem de um nodo por um semáforo, num determinado momento.

Diante da premissa de que os semáforos difundem periodicamente o estado do sinal e o tempo restante do atual estado, o algoritmo *Detector de ultrapassagem semafórica*  $DU_{(i,s)}$ , estima a possibilidade de um nodo  $i$  ultrapassar ou não um determinado semáforo  $s$ , a partir de informações de mobilidade do veículo  $i$  e mensagens de sinalização do semáforo  $s$  sob análise. Para isto, o algoritmo avalia o tempo estimado de chegada do nodo até o semáforo

$s$  e compara com o tempo restante do atual estado deste semáforo.

O detector de ultrapassagem semafórica, apresentado no Algoritmo 8, é parte integrante do Algoritmo 7 e é utilizado no período de tempo em que o nodo  $i$  trafega sobre a região semafórica, ou seja, enquanto o nodo  $i$  localiza-se sobre os segmentos antecessores e sucessores.

---

**Algoritmo 8:** Detector de ultrapassagem semafórica

---

```

1 início
2    $PA_i \leftarrow$  posição atual do nodo  $i$ 
3    $S_s^{last} \leftarrow$  último estado identificado do semáforo  $s$ 
4    $t_s \leftarrow$  último tempo identificado no semáforo  $s$ 
5   se ( $PA_i$  está no segmento sucessor) então
6      $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Verdadeiro; /* O nodo  $i$  já ultrapassou o semáforo */
7   senão
8     /* Avalia se nodo  $i$  chega antes de acabar o atual estado do semáforo  $s$  */
9     se ( $t_{(i,s)} \leq t_s$ ) então
10      seleccione ( $S_s^{last}$ ) faça
11        caso verde
12           $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Verdadeiro;
13        caso vermelho
14           $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Falso;
15        caso amarelo
16          se ( $ds_{(i,s)} \leq d_{(i,s)}$ ) então
17             $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Falso;
18          senão
19             $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Verdadeiro;
20      senão
21         $DU_{(i,s)} \leftarrow$  Falso;

```

---

No algoritmo 8, quando o nodo  $i$  localiza-se no segmento sucessor, então considera-se que a ultrapassagem já ocorreu e, a partir deste instante, o  $DU_{(i,s)}$  retorna sempre o valor *verdadeiro* (linhas 5 e 6).

Por outro lado, quando o algoritmo verifica que o nodo  $i$  está sobre o segmento antecessor, deve-se avaliar a possibilidade do nodo  $i$  conseguir ultrapassar o semáforo antes do término do atual estado do sinal. A componente  $t_{(i,s)}$ , calculada através da Equação 4.1, indica o tempo que o nodo  $i$  necessita para alcançar o semáforo  $s$ , considerando sua velocidade instantânea e distância em relação ao semáforo  $s$ , enquanto que a variável  $t_s$  indica o tempo restante do atual estado do sinal no semáforo  $s$ , recebido na mensagem de sinalização do semáforo.

A componente  $t_{(i,s)}$  é calculada a partir da Equação a seguir.

$$t_{(i,s)} = \frac{d(i,s)}{v_i} \quad (4.1)$$



na qual  $d(i, s)$  é a distância euclidiana entre o nodo  $i$  e o semáforo  $s$ ; e  $v_i$  é a velocidade instantânea do nodo  $i$  em metros por segundo. Na Equação 4.1 é estimado que a velocidade do veículo se mantenha constante ao longo do percurso no segmento antecessor. Influências externas que contribuem para a mudança neste tempo de aproximação ao semáforo  $s$ , como habilidade do motorista, problemas na pista, veículos lentos a frente, não são contabilizados nesta equação.

No caso em que o tempo de chegada até o semáforo  $t_{(i,s)}$  é menor que o tempo restante do sinal  $t_s$ , diferentes avaliações são realizadas de acordo com o estado do sinal  $S_s^{last}$ , que seguem (linhas 9 a 21):

- **verde:** o nodo  $i$  consegue ultrapassar o semáforo  $s$ ;
- **vermelho:** o nodo  $i$  se aproximará do semáforo  $s$ , mas não é permitida a ultrapassagem imediata deste e reduções de velocidade e/ou uma parada ocorrerá com este nodo  $i$ ; e
- **amarelo:** o nodo  $i$  calcula a distância mínima necessária  $ds_{(i,s)}$  para realizar uma parada segura no semáforo  $s$ , através da Equação 4.2. Caso esta distância esteja abaixo da distância até o semáforo  $d_{(i,s)}$ , então considera-se que o nodo  $i$  não ultrapassa o semáforo.

Entretanto, a estimativa de ultrapassagem pelo estado *amarelo* é passível de equívocos, já que a decisão do motorista de parar o veículo no instante em que aparece este sinal depende de fatores, como: i) velocidade do veículo; ii) tempo de percepção; iii) reação do motorista; e iv) taxa de desaceleração segura. De acordo com (LI; ABBAS, 2010; PUAN; ISMAIL, 2006), a distância mínima necessária para um veículo parar com segurança no semáforo é calculada pela seguinte equação.

$$ds_{(i,s)} = v_i \cdot \delta + \frac{v_i^2}{2 \cdot a} \quad (4.2)$$

Na Equação 4.2, a componente  $ds_{(i,s)}$  é a distância de frenagem segura em metros para um veículo  $i$ ;  $v_i$  representa a velocidade inicial do veículo  $i$  em (m/s);  $\delta$  é uma constante que estima o tempo de percepção e reação do motorista (s);  $a$  é uma constante que estima a taxa de desaceleração considerada segura.

Por causa dos fatores subjetivos, como comportamento do motorista, tipo de pista e veículo, a estimativa de ultrapassagem é passível de erros em seu tratamento.

Finalmente, nos casos em que o tempo de chegada  $t_{(i,s)}$  é superior ao tempo restante do sinal (linha 26), o detector de ultrapassagem  $DU_{i,j}$  não pode

estimar com precisão a ultrapassagem e considera que o nodo não ultrapassará o semáforo, independente do estado atual do sinal  $S_s^{last}$ .

Nesta dissertação, optou-se pela utilização de sistemas semafóricos que sinalizam apenas o atual estado do sinal, com o intuito de simplificar as análises e os tratamentos realizados pelo mecanismo proposto. Diante destes cenários, o algoritmo não pode determinar se a transição após o estado de *verde* será um sinal *amarelo* ou *vermelho*. A ausência desta informação, acarreta numa imprecisão na determinação da detecção da ultrapassagem e por isso justifica-se a decisão do mecanismo em considerar que a manobra de ultrapassagem não é realizada para tempos de chegada  $t_{(i,s)}$  superiores ao tempo restante do sinal.

#### 4.2.4 Cálculo do peso $U_i$

Em seguida, a constatação de diferença na detecção de ultrapassagem semafórica entre dois nodos, o nodo  $i$  calcula o peso  $U_i$ , Equação 4.3. Este peso contabiliza fatores que se julgam importantes e que garantam que a detecção de ultrapassagem sob análise seja cumprida pelo nodo. O limiar  $U_{Th}$  e o cálculo do peso  $U_i$  tem o objetivo de certificar e garantir que o nodo  $i$  cumprirá a estimativa de ultrapassagem identificada no detector de ultrapassagem  $DU_{(i,s)}$  e  $DU_{(j,s)}$ , calculado com um determinado grau de certeza. Por isso, estes cálculos tentam representar as interferências que possam ocorrer ao longo do trajeto dos nodos  $i$  e  $j$  e que por ventura podem alterar os resultados identificados no detector de ultrapassagem destes nodos no decorrer do tempo. Desta maneira, dois fatores determinantes no peso  $U_i$  são contabilizados: a distância momentânea que o nodo  $i$  se encontra do semáforo  $s$ ; e a distância prevista que o nodo  $i$  se encontrará do semáforo  $s$  ao fim do atual estado do sinal do semáforo.

Cada nodo calcula o peso  $U_i$ , a partir de suas informações e dados coletados do semáforo  $s$ . A função  $U_i$  utilizada para calcular o limiar de ultrapassagem de um nodo  $i$  é mostrada a seguir.

$$U_i = u_1.DS_{(i,s)} + u_2.DA_{(i,s)} \quad | \quad \sum u_i = 1 \quad (4.3)$$

Na Equação 4.3, a componente  $DS_{(i,s)}$  indica o peso da distância de aproximação em relação ao semáforo e  $DA_i$  o peso da distância de afastamento do nodo  $i$  ao término do atual estado de sinal. Tanto a componente  $DS_{(i,s)}$ , como  $DA_i$ , variam na faixa entre 0 e 1.

As constantes  $u_1$  e  $u_2$  determinam a influência de cada uma das componentes na função  $U_i$ , de modo que, é possível priorizar um fator em relação

ao outro.

No Algoritmo 7, uma vez que o peso do nodo  $j$  ultrapasse o limiar  $U_{Th}$  o sistema prevê com garantias de que a eliminação do nodo  $j$  da lista de vizinhos válidos é segura.

### Componente de distância em relação ao semáforo ( $DS$ )

O fator que avalia a distância em relação ao semáforo  $DS_{(i,s)}$  contabiliza um peso que aumenta proporcionalmente com a aproximação do nodo  $i$  ao semáforo  $s$ . Ou seja, quanto mais distante um nodo  $i$  estiver do sistema semaforico  $s$ , maior é o fator de indecisão com relação a manobra de ultrapassagem pelo semáforo, já que acelerações ou desacelerações podem ocorrer por parte do motorista ao longo do trajeto até o semáforo  $s$ . Estas mudanças de velocidade são causadas por inúmeros fatores, como: instabilidade na condução do motorista, obstáculos a frente como buracos, desvios na via e veículos lentos.

Por isso, quanto mais próximo um nodo  $i$  estiver do sistema semaforico  $s$  maior o peso  $U_i$ , já que a probabilidade de interferência tende a diminuir proporcionalmente. O cálculo da componente  $DS_{(i,s)}$  que avalia a distância em relação ao semáforo é apresentado na equação a seguir.

$$DS_{(i,s)} = \begin{cases} 1 & \text{se } PA_i > PA_s \\ 0 & \text{se } d_{(i,s)} > r_i \\ 1 - \left[ \frac{d_{(i,s)}}{r_i} \right] & \text{se } d_{(i,s)} \leq r_i, \end{cases} \quad (4.4)$$

A componente  $d_{(i,s)}$  é a distância euclidiana entre o nodo  $i$  e o semáforo  $s$ , e  $r_i$  é o raio de comunicação, que no caso se refere ao tamanho do segmento antecessor. Na Equação 4.4, o peso do fator distância de aproximação é avaliado sob três situações.

No primeiro caso, é avaliado se a posição do nodo ( $PA_i$ ) é posterior a posição do semáforo ( $PA_s$ ), ou seja, o nodo  $i$  já ultrapassou o semáforo  $s$  e encontra-se no segmento sucessor, então há garantias de que a decisão de ultrapassagem é correta.

No segundo caso, do qual  $d_{(i,s)} > r_i$  indica que o nodo  $i$  sob análise não está na região semaforica e o peso deste é limitado a 0, indicando que este fator será desconsiderado no cálculo do peso  $U_i$  do nodo.

No último caso, se refere ao segmento antecessor, do qual o nodo  $i$  está a uma distância, de no máximo, um raio de comunicação do semáforo  $s$ . Portanto, o peso aumenta inversamente a distância do nodo  $i$  em relação ao semáforo  $s$ .

Um exemplo da progressão dos valores do fator distância de aproximação

$DS_{(i,s)}$  é ilustrada na figura abaixo.

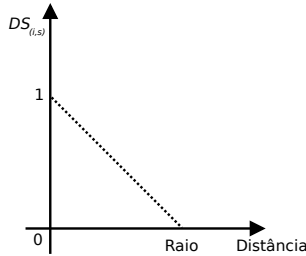


Figura 8 – Resultados da componente  $DS_{(i,s)}$

Na Figura 8, a progressão dos valores acompanha a distância que um nodo  $i$  localiza-se em relação ao semáforo  $s$ , quanto maiores as incertezas da trajetória, menor o peso do fator de distância de aproximação  $DS_{(i,s)}$ .

### Componente de distância de afastamento ( $DA$ )

Conforme descrito anteriormente, outro fator contabilizado no peso  $U_i$ , é a distância prevista que o nodo  $i$  manterá em relação ao semáforo  $s$  ao término do atual estado deste. No caso de prever uma ultrapassagem do nodo  $i$  pelo semáforo  $s$ , esta distância corresponde a distância de ultrapassagem no segmento sucessor, caso contrário corresponde a distância que o nodo  $i$  se manterá antes de chegar no semáforo, no segmento antecessor.

O fator distância de afastamento do semáforo  $DA$ , avalia o quão afastado o nodo  $i$  estará do sistema semafórico, logo após o término do atual estado do semáforo  $s$ . Desta maneira, quanto mais afastado o nodo  $i$  estiver, maiores as garantias na determinação de ultrapassagem pelo semáforo  $s$ . O cálculo deste fator é apresentado na equação a seguir.

$$DA_i = \begin{cases} 1 & \text{se } PA_i > PA_s \\ 1 & \text{se } |d_{(i,s)} - d_{(i,st)}| > U_{Th} \\ \frac{|d_{(i,s)} - d_{(i,st)}|}{U_{Th}} & \text{se } d_{(i,s)} \leq U_{Th}, \end{cases} \quad (4.5)$$

Na Equação 4.5, o peso do fator distância de afastamento do semáforo  $s$  é avaliado sob três situações.

No primeiro caso, é avaliado se a posição do nodo  $PA_i$  é posterior a posição do semáforo  $PA_s$ , ou seja, o nodo  $i$  já ultrapassou o semáforo  $s$  e encontra-se no segmento sucessor, então há garantias de que a decisão de ultrapassagem é correta.

No segundo caso, do qual  $|d_{(i,s)} - d_{(i,st)}|$  indica que o nodo sob análise se encontrará a uma distância considerada segura, determinada pelo limiar  $U_{Th}$  para validar a ultrapassagem ou não do nodo. Caso seja maior que este limiar o peso é limitado a 1. A componente  $d(i, st)$  é a distância percorrido pelo nodo  $i$  ao longo do tempo restante do estado de sinal; e  $d_{(i,s)}$  é a distância euclidiana entre o nodo  $i$  e o semáforo  $s$ .

O último caso refere-se a distância abaixo do limiar  $U_{Th}$ . Neste caso em particular, o peso aumenta proporcionalmente com a distância de afastamento do nodo  $i$  em relação ao semáforo.

A progressão do fator distância de afastamento  $DA_i$  é ilustrada na Figura 9.

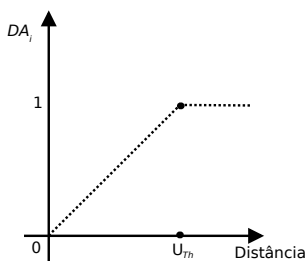


Figura 9 – Resultados da componente  $DA_i$

Na Figura 9, a progressão dos valores acompanha a distância que um nodo  $i$  prevê se localizar com relação ao semáforo  $s$  após o término do atual estado. Proporcionalmente, quanto maior a distância prevista de afastamento, maiores as garantias da execução da manobra de ultrapassagem e, por isso, maior o peso do fator de distância de afastamento.

#### 4.2.5 Algoritmo de Compensação do Limiar $W_{Th}$

No ambiente de tráfego urbano, próximo a controladores semafóricos, os agrupamentos tendem a se contrair e expandir, a partir da aglomeração e dispersão de veículos, causadas pelas mudanças nos estados dos sinais do semáforo. Os veículos que trafegam em direção a um semáforo com sinal *vermelho*, aglomeram-se devido a aproximação causada pela redução de velocidade imprimida para que estes parem junto ao semáforo.

O impacto causado pela aglomeração gradual dos veículos no algoritmo de agrupamento SIGA são as mudanças significativas nos valores das componente de centralidade  $C_i$  e velocidade  $V_i$ , que consequentemente ele-

vam à alternâncias abruptas nos pesos  $W$ , responsável por determinar qual nodo do agrupamento é mais qualificado para ocupar a função de líder. Por isso, as variações produzidas no peso  $W$  geram o aumento no número de transferência de liderança e refiliações durante a fase de parada dos veículos junto aos semáforos.

No sistema SIGA, o limiar  $W_{Th}$  tem o objetivo de garantir que tais mudanças abruptas e momentâneas nos valores do peso  $W$  sejam filtradas, impedindo instabilidades e sucessivas transferências de liderança. Entretanto, o valor deste limiar se mantém igual independente da situação do tráfego na pista, número de membros, velocidade dos nodos etc.

De acordo com a proposta SIGA, um dos objetivos da transferência de liderança é melhorar a eficiência na distribuição de sinal dentro do agrupamento. Entretanto, em regiões semaforicas, na qual há a aproximação dos nodos provocadas pelo fechamento do semáforo, tais transferências de liderança contribuem com pequenas melhoras na eficiência de distribuição deste sinal. Este comportamento, explica-se pelo fato dos nodos localizarem-se próximos uns dos outros e o sinal distribuído pelo líder alcançar com eficiência todos os membros.

Portanto, agrupamentos com dimensões menores, no qual mesmo os nodos mais afastados do líder localizam-se a uma curta distância deste, os benefícios de uma transferência de liderança são baixos, já que o ganho de transferir tem baixo impacto na melhora do sinal de comunicação no agrupamento.

No caso de agrupamentos maiores, entretanto os benefícios de transferir tal liderança são melhores percebidos e aproveitados. Nodos vizinhos mais distantes ao se aproximarem do limite do raio de comunicação do líder, podem continuar agregados assim que a liderança é transferida para um nodo com melhor posicionamento e velocidade relativa.

Portanto, um mecanismo baseado em um limiar adaptativo, que se configura de acordo com a formação momentânea do agrupamento expressa melhor a tarefa de transferência de liderança em uma região semaforica.

A partir da problemática em regiões semaforicas apresentada nesta seção, optou-se, neste trabalho, em propor um algoritmo que embutido a estratégia de predição, visa adaptar o limiar  $W_{Th}$  de acordo com a formação dos agrupamentos. O algoritmo de compensação de limiar proposto procura reduzir o número de transferências de liderança e refiliações em regiões semaforicas na ocorrência da transição do estado do sinal semaforico de *verde* para *vermelho*, a qual gera aglomerações de veículos e instabilidades nos algoritmos dos agrupamentos.

Isto é alcançado adotando-se uma abordagem em que o líder do agrupamento avalia através do *algoritmo de determinação de vizinhança*, descrito

anteriormente nesta seção, se todos os nodos do agrupamento param junto ao semáforo. No caso afirmativo, o líder utiliza uma função de compensação que determina valores adicionais ao limiar  $W_{Th}$  e que elevam este limiar quando o agrupamento é pequeno, ou decrementam em caso contrário.

Assim, a função de compensação é utilizada apenas pelo nodo líder durante a fase em que o estado do sinal do semáforo seja *vermelho*. Esta função compensa o limiar  $W_{Th}$  de acordo com a distância do líder e os vizinhos membros do agrupamento mais distantes.

O cálculo de compensação do limiar  $W_{Th}$  ( $C_t$ ) é apresentada na seguinte equação.

$$C_t = C_b + C_m \left[ 2^{-\left\lceil \frac{\max(d_{(i,j)})}{C_l} \right\rceil} \right] \quad (4.6)$$

A componente  $C_m$  determina o valor teto do limiar, representando o maior valor assumido no cálculo deste. A componente  $C_l$ , determina com que taxa a queda no limiar ocorre ao longo da progressão de valores. O acréscimo no valor de  $C_l$ , representa decrementar os valores do limiar de maneira mais suave, enquanto que diminuir acarreta em decrementos mais bruscos deste. A componente  $C_b$  determina o menor valor assumido pelo limiar  $W_{Th}$ . De acordo com o sistema SIGA, esta componente representa o limiar utilizado em todas as etapas de tráfego dos nodos na via. A componente  $\max(d_{(i,j)})$  representa a distância do líder com relação ao vizinho mais distante do agrupamento.

A Figura 10 mostra os resultados calculados do limiar  $W_{Th}$  para os valores da Tabela 3.

Tabela 3 – Configuração do Limiar

Parâmetro	Valor
$C_b$	20
$C_m$	150
$C_l$	50

Note-se na Figura 10, como o limiar  $W_{Th}$  possui valores consideravelmente elevados quando o tamanho do agrupamento é pequeno. Por exemplo, para distâncias euclidianas menores que 50 metros, o limiar  $W_{Th}$  possui valores entre 80% e 150% que são consideravelmente elevados quando comparados com os valores utilizados nos experimentos em (CAMBRUZZI, 2013). Desta maneira, o mecanismo de compensação do limiar  $W_{Th}$  pretende evitar que agrupamentos com poucos membros e agrupados numa pequena região,

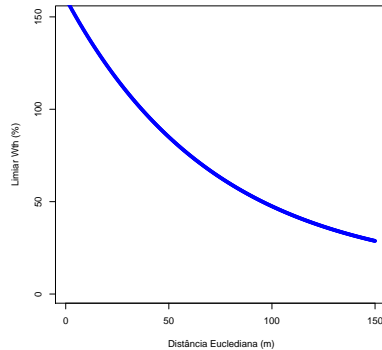


Figura 10 – Resultados obtidos no limiar  $W_{Th}$

realizem transferência de liderança sem haver necessidade quando próximos a regiões semaforizadas. Entretanto, nos agrupamentos considerados esparsos, em que membros localizam-se próximos ao limite do raio de comunicação, a transferência de liderança é facilitada e o limiar decresce exponencialmente.

Observa-se também na Figura 10 que o comportamento imposto nos valores da função de compensação busca expressar os efeitos de desvanecimento do sinal e a probabilidade de recepção de mensagens, num ambiente VANET. Estudos apresentados em (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2010) demonstram como a taxa de transmissão, a distância e potência do sinal reduzem o índice de recepção dos pacotes pelos veículos mais afastados de um nodo transmissor. Por isso, o intuito da função proposta no cálculo de compensação de limiar é dificultar as transferências quando os agrupamentos são pequenos e a distribuição do sinal é consideravelmente boa. Caso contrário, quando o agrupamento é considerado grande objetiva-se onerar a compensação permitindo que transferências sejam facilitadas, visto a importância, já que a taxa de recepção dos nodos mais distantes é deturpada por questões de colisões de pacotes e desvanecimento natural do sinal de rádio.

Diante das premissas apresentadas nesta seção, o líder do agrupamento tem a incumbência de avaliar o fechamento do sinal e, uma vez identificado este evento, o líder que se localiza no segmento antecessor e identificar que nenhum membro ultrapassará o semáforo, restringe a transferência de liderança a partir do cálculo de compensação do limiar  $W_{Th}$ , pois a nestes casos, os valores dos pesos  $W$  dos vizinhos membros têm que superar índices elevados do limiar  $W_{Th}$  para provocar uma mudança de liderança.

As contribuições na robustez da manutenção do agrupamento, como redução do número de transferências e refiliações, providas pela inclusão



desta estratégia, a qual prioriza a transferência de liderança para agrupamentos maiores são comprovadas através dos resultados experimentais obtidos e analisados em detalhes no Capítulo 6.

#### 4.3 MODIFICAÇÃO DOS MECANISMOS DO SISTEMA SIGA

As modificações propostas no sistema SIGA inserem-se nos algoritmos de *Atualização da vizinhança* e *Transferência de liderança*, descritos no Capítulo 3. Contudo, as previsões nestes dois algoritmos são realizadas apenas se duas premissas básicas forem respeitadas, que são: i) nodo  $i$  localizar-se na região semafórica; e ii) superação do limiar  $VS_{th}$  que estima a velocidade mínima para evitar falsas ultrapassagens.

Um exemplo da restrição imposta pelas premissas de atuação do mecanismo de previsão semafórica é ilustrado na Figura 11.

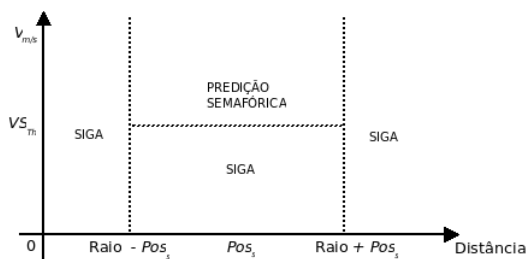


Figura 11 – Limiares de velocidade e distância que determinam a atuação do mecanismo de previsão semafórica

A primeira modificação no sistema SIGA, ilustrada na Figura 11, condiz com o algoritmo de *Atualização de vizinhança*. A seguir, o Algoritmo 9 apresenta as devidas modificações para realizar a previsão e identificação dos vizinhos válidos na região semafórica.

Observa-se no Algoritmo 9 que as funcionalidades originais do algoritmo de atualização de vizinhança, descritas na Seção , são representadas pelas funcionalidades F1, F2 e F3 (linhas 4 a 9). Logo após as três funcionalidades do sistema SIGA, inclui-se a alteração proposta no Algoritmo 9, que consiste na inclusão da quarta funcionalidade, linhas (10 a 18), que periodicamente avalia todos os vizinhos válidos numa região semafórica. Assim, que o nodo  $i$  identifica que está na região semafórica, ou seja, sobre o segmento antecessor ou sucessor (linha 12), o nodo  $i$  executa o algoritmo de determinação de vizinhança para todo nodo  $j$  (linha 14), apresentado em

---

**Algoritmo 9:** Algoritmo de atualização de vizinhança proposto.
 

---

```

1  início
2  |  $t_i^{send} \leftarrow 0$  /* sinalização anterior*/
3  | repita
4  | | Funcionalidade: F1
5  | | /* Recepção de mensagens e atualização da vizinhança */
6  | | Funcionalidade: F2
7  | | /* Remoção do nodo  $j$  da vizinhança de  $i$  */
8  | | Funcionalidade: F3
9  | | /* Difusão de Mensagens de Sinalização */
10 | | Funcionalidade: F4
11 | | /* Invalidar vizinhos nas regiões semafóricas */
12 | | se (nodo  $i$  estiver sobre um dos segmentos da região
13 | | semafórica) então
14 | | | para (todos os vizinhos  $j$ ) faça
15 | | | | DeterminacaoVizinhancaSemaforica(i,j)
16 | | | | se (Vizinho  $j$  acompanha  $i$  na região semafórica)
17 | | | | então
18 | | | | | Manter nodo  $j$  na lista de vizinhos;
19 | | | | senão
20 | | | | | Invalidar nodo  $j$  da lista de vizinhos;
21 | | até sempre;

```

---

4.2.2. Caso determina-se que um nodo  $j$  não acompanhará o nodo  $i$  pela região semafórica, pois um deles deve parar e outro ultrapassar, o nodo  $i$  invalida o vizinho  $j$ , e este não será mais considerado nas cálculos e avaliações dos mecanismos de formação e manutenção do sistema SIGA (linha 18).

Outra modificação importante, no sistema SIGA está relacionada com o mecanismo de *transferência de liderança*. O algoritmo de compensação de limiar  $W_{Th}$  é utilizado apenas pelos nodos líderes, após a detecção de que todos os vizinhos integrantes do agrupamentos estejam localizados no segmento antecessor, ou antes deste. As modificações impostas no algoritmo de transferência são descritas em pseudo-código no Algoritmo 10 a seguir.

---

**Algoritmo 10:** Algoritmo de transferência de liderança

---

```

1 início
2   se (estado do nodo  $i$  é Líder) então
3     Calcular o peso  $W_j$  para cada membro  $j$  do agrupamento
4     se ( (Todos os membros do agrupamento liderado pelo
5       nodo  $i$  estiverem no segmento antecessor) e (estado do
6       sinal = vermelho) ) então
7        $C_l \leftarrow$  Calcular o limiar de Compensação de  $W_{Th}$ 
8        $W_{Th} \leftarrow C_l$ 
9        $NovoLider \leftarrow \text{Min}[(\forall j : W_j < (W_i * W_{Th})) \text{ e } j \text{ reconhece}$ 
10        os membros filiados ao líder  $i$ ];
11      se (Existe um  $NovoLider$ ) então
12         $Transferencia(i \rightarrow NovoLider)$ 

```

---

No Algoritmo 10, as modificações se localizam nas linhas 4 a 6 e correspondem a atuação do mecanismo de Compensação de limiar  $W_{Th}$ . Agrupamentos que se aproximam da região semafórica com o estado de sinal *vermelho* tendem a se comprimir, através da aproximação dos veículos junto aos sistemas semafóricos. Conforme discutido anteriormente, a atuação do mecanismo de compensação de limiar  $W_{Th}$ , colabora na diminuição de transferências de liderança desnecessárias no momento em que os veículos desaceleram junto ao semáforo. Quando nodo  $i$  no estado de líder identificar que todos os membros integrantes estão antes do semáforo e o estado do semáforo é vermelho, a compensação de limiar será empregada no mecanismo de transferência de liderança.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Uma visão geral do mecanismo de predição semafórica, características principais e algoritmos que compõem este mecanismo são apresentados no capítulo. Além disso, apresenta-se também as modificações propostas nos mecanismos de formação e manutenção do sistema SIGA, que visam tratar aspectos comportamentais do agrupamento quando este aproxima-se de uma região com sistema semafórico.

No Capítulo 6, serão apresentados estudos e resultados da influência do semáforo, em um ambiente simulado, no desempenho do sistema SIGA original comparando-o em relação ao sistema SIGA agregado do mecanismo preditivo semafórico.

## 5 AGRUPAMENTOS EM INTERSECÇÕES

No ambiente de tráfego urbano, os controladores semafóricos são responsáveis, em grande parte, pela deformação dos agrupamentos e redução do desempenho dos algoritmos de formação e manutenção de agrupamentos, conforme apresentado na Seção 4.1. Entretanto, outro elemento presente nas vias urbanas e em número superior é também um agente causador de deformações, particionamentos e quebras de enlace, que são as intersecções.

As intersecções promovem particionamentos quando os veículos de um agrupamento almejam pistas distintas na intersecção, dispersando-se e desagregando-se do agrupamento. A mudança de pista é vista pelo algoritmo de manutenção em SIGA como uma desagregação imediata do nodo em relação ao agrupamento do qual participava. As constantes inserções e dispersões de nodos proporcionadas pela intersecção alteram abruptamente as componentes de centralidade e velocidade deste algoritmo, provocando instabilidades, tais como o aumento no número de refiliações, as reconfigurações e transferências de liderança.

Diante deste novo cenário, deturpador da estabilidade do agrupamento, este trabalho propõe mecanismos que possam melhorar o desempenho do sistema SIGA em regiões de intersecção. Portanto, neste capítulo, inicialmente, são analisadas as influências que as regiões de intersecções contribuem para criar instabilidades nos agrupamentos que trafegam próximos a estas, descritos na Seção 5.1.1.

Na Seção 5.2, são descritas informações disponíveis nos veículos, que possam servir para o desenvolvimento de predições das rotas dos veículos em regiões de intersecção.

Em seguida, na Seção 5.3, é apresentada a primeira das duas propostas de predição em regiões interseccionais deste trabalho. Esta primeira proposta utiliza-se da informação de acionamento das setas dos veículos para prever particionamentos e trajetórias dos veículos, afim de montar estratégias que visem melhorar a estabilidade dos agrupamentos.

Por fim, na Seção 5.4, é descrita um proposta que emprega a rota planejada pelo motorista, para realizar predições na formação do agrupamento que se aproxima de uma região interseccional.

### 5.1 INFLUÊNCIA DAS INTERSECÇÕES NOS AGRUPAMENTOS

As intersecções são pontos nas rodovias e vias urbanas em que inúmeras vias se encontram possibilitando aos motoristas trafegarem por rotas

distintas e prosseguirem com seu trajeto planejado. Em vias urbanas, um veículo experimenta trafegar por inúmeras intersecções que oferecem opções de mudança de rota ao motorista do veículo. Neste tipo de cenário, normalmente, um veículo alterna sistematicamente entre agrupamentos no período de tempo em que realiza a passagem pelas várias pistas das vias urbanas de uma cidade. A decisão de trafegar por uma rota ou não, realizada pelo motorista do veículo, pode influenciar significativamente no agrupamento, caso esta rota não seja a mesma rota a ser trafegada pelos demais veículos que participam do agrupamento.

Assim, dois fenômenos distintos ocorrem quando um agrupamento atravessa uma intersecção: dispersão dos nodos e agregação de novos nodos. Desta maneira, tanto a dispersão quanto a agregação de novos membros em regiões de intersecção não devem desestabilizar a formação e manutenção dos agrupamentos já formados, ou pelo menos que seu impacto seja minimizado a ponto de não permitir inúmeras refiliações e transferência de liderança.

A dispersão do agrupamento ocorre quando os nodos deste se aproximam da intersecção e parte dos membros decidem trafegar por uma rota diferente em relação aos demais membros do agrupamento. Nesta simples situação descrita acima, o agrupamento particiona-se e novos agrupamentos se formam, caso os membros divergentes não encontrem outro agrupamento para se filiarem à frente. O período de tempo e a maneira como este novo agrupamento se formará é determinado diretamente pela estratégia do mecanismo de manutenção adotada pelo agrupamento.

Neste ponto em específico, um fator preponderante diferencia as estratégias de formação de agrupamentos. As estratégias que consideram o sentido de direção e as que não a consideram na tarefa de manutenção do agrupamento. A maioria dos algoritmos de agrupamento considera o sentido de direção na pista um fator determinante se um membro deve ou não permanecer agregado a um agrupamento qualquer. Esta estratégia funciona muito bem em cenários com rodovias, em que uma pista possui fluxos distintos e contrários entre si. Neste caso, o agrupamento considera apenas os membros que trafeguem na mesma direção em que o agrupamento se locomove e desconsidera os membros na pista oposta. Com isso, caso um dos membros do agrupamento mude de pista, este membro será desconsiderado imediatamente, como membro válido na formação e participação do agrupamento vigente. Este tipo de estratégia é considerado em (CAMBRUZZI; FARINES; KRAUS, 2009; SHEA, 2009; ALMALAG; WEIGLE, 2010; BONONI; FELICE, 2007; GOPALASWAMY, 2007).

Entretanto, algoritmos como (FAN, 2007; LI, 2011; KOULAKEZIAN, 2011), não consideram o senso de direção um elemento preponderante na manutenção do agrupamento, o que implica que se o membro alterna a pista

em que ele trafega, este ainda participa da formação do agrupamento, mesmo que num período de tempo adiante este se desagregará por causa da perda de comunicação causada pela distância de afastamento.

Uma estratégia que visa a detecção de mudança de pista e sentido de direção é adotada em (GOPALASWAMY, 2007), a qual é baseada em estratégias similares utilizadas por algoritmos de roteamento (PARIDEL et al., 2011; MAOWAD; SHAABAN, 2012; TOUTOUH; ALBA, 2011).

Num plano cartesiano, os veículos são agrupados em quatro grupos diferentes com base em suas velocidades vetoriais, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Senso de direção

Deslocamento em graus	Grupo
$0^\circ < \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right) \leq 45^\circ$	1
$45^\circ < \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right) \leq 135^\circ$	2
$135^\circ < \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right) \leq 225^\circ$	3
$225^\circ < \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right) \leq 315^\circ$	4
$315^\circ < \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right) \leq 360^\circ$	1

As velocidades vetoriais são informações providas pelo sistema GPS equipado nos veículos e processadas pelo algoritmo periodicamente. Este determinará a qual grupo vetorial pertence o nodo, e conseqüentemente descarta os membros da lista de vizinhança que não estejam no mesmo grupo.

Os cenários comumente abordados por esta estratégia correspondem as intersecções com sistemas semaforicos, na qual veículos podem optar por mais de um trajeto após a passagem pelo semáforo. Os veículos que se localizam nesta região devem distinguir entre veículos em movimento na mesma direção de veículos em movimento em outras direções. A tolerância de senso de direção adotada pode variar e comumente utiliza-se valores na faixa entre  $22.5^\circ$  e  $45^\circ$  de cada lado, para atender a correta interpretação do comportamento de direção. A variação desta tolerância é devido a possibilidade de haver, em determinados casos reais, situações em que o ângulo de movimentação ser menor que  $45^\circ$ , como por exemplo a mudança de faixa, em pistas com duas ou mais faixas de tráfego.

Diante do exposto, na subseção a seguir são apresentados exemplos da influência das intersecções na manutenção dos agrupamentos em SIGA.

### 5.1.1 Cenários com Intersecções

Nesta subsecção, são relacionados e apresentados cenários com intersecções e a influência que estes elementos da via urbana ocasionam em um agrupamento que utiliza o sistema SIGA como algoritmo de formação e manutenção de agrupamento. O intuito é demonstrar que tais perturbações causadas pela desagregação de nodos após uma mudança de pista, caso não sejam corretamente interpretados pelo algoritmo, ocasionam aumentos consideráveis no número de transferências de liderança, refiliações e reconfigurações desnecessárias, e fusões entre agrupamentos em momentos inoportunos, no qual formam-se agrupamentos de curta duração que logo particionam-se novamente.

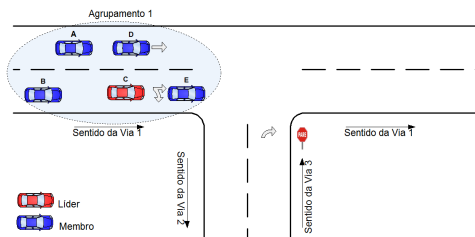
Um primeiro exemplo de cenário apresenta, em três etapas, a desagregação parcial de nodos do agrupamento numa intersecção simples com saída à direita, conforme é ilustrada na Figura 12.

O exemplo ilustrado na Figura 12 condiz com o comportamento de um agrupamento quando as regras de formação em SIGA são empregadas. Uma premissa assumida em SIGA é que todo nodo no estado *membro* ou *membro-gateway*, mantenha-se filiado apenas a líderes que trafegam na mesma pista do nodo. Com isso após a conversão à direita realizada pelo nodos *E* e *B*, respectivamente, estes desconsideram válido o líder do agrupamento 1 e, conseqüentemente, desagregaram-se assim que identificaram a mudança de pista. A restrição de impedir que nodos em pistas diferentes possam se comunicar para formar agrupamentos é justificada em SIGA, principalmente, por causa das características de vias em que normalmente há duas pistas adjacentes com fluxos opostos.

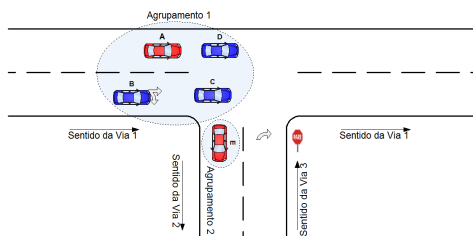
No momento da mudança de pista do nodo *E*, a centralidade do agrupamento 1 deslocou-se e o nodo *A* tornou-se o nodo mais central no agrupamento, e por isso houve uma transferência de liderança do nodo *C* para o nodo *A*. Em seguida, o mesmo comportamento ocorre no momento em que o nodo *B* converte à direita, entretanto a transferência de liderança inverteu-se, e o nodo *A* transfere para o nodo *C*.

Assim, a desagregação gradual de nodos nas regiões de intersecção afeta diretamente a formação e a manutenção dos agrupamentos, culminando no aumento do número de transferências de liderança. A componente de centralidade  $C_i$  é afetada principalmente pela saída de membros da pista, pois os nodos localizados nas margens do agrupamento são os primeiros a desagregarem e com isso intensificam as mudanças nesta componente devido as considerações destes do cálculo de centralidade. Enquanto isso, a componente de velocidade  $V_i$  do agrupamento sofre perturbações devido a redução de velocidade dos nodos causadas pelas manobras de conversão nas curvas

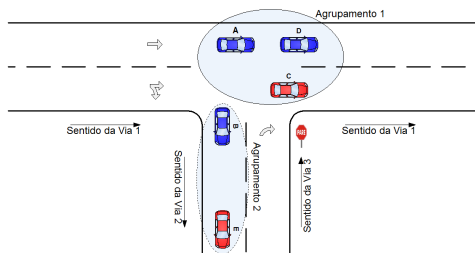




(a) O agrupamento 1 aproxima-se da intersecção e os nodos C e E planejam mudar de pista



(b) O nodo E muda de pista, desagrega-se do agrupamento 1 e forma o agrupamento 2



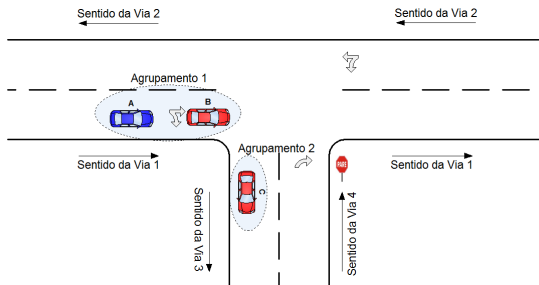
(c) O nodo B muda de pista, desagrega-se do agrupamento 1 e refilia-se ao agrupamento 2

Figura 12 – Exemplo de dispersão do agrupamento na região intersecional

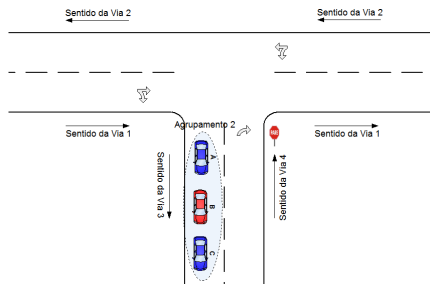
da intersecção. As perturbações são mais perceptíveis, quando uma parcela do agrupamento reduz a velocidade, enquanto que outra parcela mantém suas velocidades de tráfego, já que almejam continuar em frente.

Por isso, antecipar a desagregação dos nodos em cenários, como o ilustrado na Figura 12(a) evita que agrupamentos mantenham nodos com características de comportamento tão distintas, sob um mesmo gerenciamento e agrupamento, possibilitando agregações de nodos com comportamentos similares.

Outro exemplo de comportamento em vias urbanas com intersecção, é o deslocamento total do agrupamento para uma outra pista, ou seja, todos os nodos do agrupamento decidem realizar uma conversão na mesma curva, que acarreta na mudança de pista do agrupamento inteiro. A mudança de pista é realizada gradualmente pelo nodos, no qual cada nodo desagrega-se do agrupamento com dispersão em instantes distintos no tempo, ocasionando transferências de liderança, reafiliações e possíveis fusões e reconfigurações. Os principais impactos e consequências desta mudança gradual de pista na formação do agrupamento é ilustrado na Figura 13.



(a) O nodo C é o primeiro a mudar de pista, desagrega-se do agrupamento 1 e forma o agrupamento 2



(b) Os nodos A e B mudam de pista e voltam a formar um único agrupamento com o nodo C

Figura 13 – Exemplo de dispersão e reagrupamento de nodos em intersecções

No exemplo da Figura 13, todos os nodos do agrupamento realizam a mesma conversão à direita na intersecção, mantendo-se fisicamente coesos durante esta manobra. Entretanto, o agrupamento particionou-se em dois e posteriormente retomou a formação original com todos os nodos, logo após todos os nodos adentrarem na nova pista. As consequências deste particionamento resultou na execução de fusões, reconfigurações e transferência de liderança. Este tipo de comportamento, em que todos os nodos almejam tra-

fegar por uma nova via, não é corretamente interpretado pelo mecanismo de manutenção do sistema SIGA e, a cada mudança de pista realizada por um nodo, uma desagregação ocorre no agrupamento. Desta maneira, os primeiros nodos da desagregação iniciam reconfigurações, assim que adentram na nova pista, formando novos agrupamentos. A chegada gradual dos outros nodos na nova via resulta em refiliações ou fusões, de acordo com o estado do nodo que adentra na via. O ciclo de refiliações e fusões cessa somente quando todos os nodos do agrupamento original se localizam na nova pista.

Este exemplo demonstra como determinados comportamentos em intersecções não são devidamente analisados pelos algoritmos de formação e manutenção de agrupamentos, resultando em reconfigurações e fusões. Portanto, as ações de reconfiguração e fusão, consideradas desnecessárias nestes casos já que o agrupamento mantém-se unido, seriam evitadas caso o algoritmo prevê-se antecipadamente a rota planejada de seus membros junto a intersecção. Caso o algoritmo de manutenção em SIGA prevê-se que todos os nodos contornariam a mesma via, o agrupamento poderia manter-se coeso logicamente, similar a coesão física do comportamento entre eles. Ou seja, a predição de que todos os nodos seguiriam pela mesma via, evitaria que ocorra a desagregação causada pela mudança de pista e os nodos que mudam de pista ainda se manteriam agregados ao agrupamento ao qual pertenciam, reduzindo o número de transferências, refiliações e reconfigurações.

Na próxima seção, são apresentados propostas que visam antever a desagregação e dispersão dos nodos de um agrupamento em regiões de intersecção. Esta informação é utilizada na tarefa de manutenção e visa estabilizar a formação do agrupamento, diminuindo o número de transferência de liderança, refiliações que conforme apresentado nesta seção julgue-se desnecessária, evitando a formação de agrupamentos de curto período de duração.

## 5.2 HEURÍSTICAS PARA O TRATAMENTO EM INTERSECÇÕES

De acordo com o descrito na Seção 5.1, uma estratégia que vise a desagregação antecipada de nodos em regiões de intersecção proporcionará maior estabilidade na manutenção do agrupamento, diminuindo o número de refiliações, reconfigurações e transferências de liderança. Neste caso, um mecanismo de predição de desagregação é considerado eficiente quando o resultado do particionamento antecipado por este, corresponde ao particionamento físico e a dispersão dos veículos nas intersecções.

Para isso, o mecanismo deve-se utilizar de informações disponíveis nos veículos para construir uma heurística que auxilie o algoritmo de agrupamento a obter maior estabilidade nos cenários com intersecção. Dentre estas

informações estão a informação da seta e a rota de tráfego do veículo. As características, disponibilidade e desafios de empregar estas informações para o desenvolvimento de estratégias heurísticas serão descritas nas subsecções a seguir.

### 5.2.1 Informação da seta

Uma estratégia relevante na predição da desagregação de membros de um agrupamento em regiões de intersecção, pode considerar a informação da seta (direita ou esquerda) como um indicativo de mudança de pista. Nesta estratégia, no instante em que o motorista do veículo ativar a seta, esta informação pode ser transmitida junto a mensagem de sinalização e, somente cessaria seu envio após a seta ser desativada, por uma ação do motorista ou automaticamente depois de convergir na curva. Com isso, os outros nodos participantes do agrupamento avaliariam a informação da seta como uma mudança de pista deste nodo e o desconsiderariam como nodo válido na lista de vizinhos, já que preveem que este irá desagregar-se do agrupamento. Caso o nodo que ativou a seta seja um nodo membro, o líder deste agrupamento não considerará válido este nodo nos cálculos da tarefa de manutenção do agrupamento, por exemplo. No entanto, o nodo que ativou a seta ainda permanece na lista de vizinhos dos nodos que também tenham ativado a seta na mesma direção. Assim, nodos que ativam a seta para o mesmo sentido consideram-se mutuamente válidos em suas listas de vizinhos.

Neste tipo de estratégia, o intuito é particionar o agrupamento antecipadamente a partir da identificação de todos os nodos que sinalizarem a seta para o mesmo sentido, visando uma maior estabilidade na manutenção do agrupamento em regiões de intersecção.

Entretanto, de acordo com a pesquisa realizada por (PONZIANI, 2012), numa amostragem de 10.000 observações de conversões de pista, em torno de 25,43% dos motoristas não sinalizaram através da seta a intenção de mudança de pista. Este índice é ainda pior quando as observações consideram apenas a mudança da faixa de rolamento. Neste caso, 48,35% dos motoristas não sinalizaram adequadamente a mudança de faixa. Desta maneira, uma abordagem que visa tratar a desagregação de nodos de um agrupamento em regiões de intersecção, baseando-se apenas na informação da seta do veículo, não podem assegurar uma estratégia confiável e eficaz.

Além disso, outro problema relacionado com este tipo de estratégia é diferenciar a ativação da seta em duas situações distintas: mudança de faixa de rolamento e conversão de pista (direita e esquerda). Esta diferenciação faz-se necessária para que não haja a interpretação errônea em situações em

que uma simples mudança de faixa de rolamento, seja avaliada como uma conversão de pista, levando a uma desagregação antecipada. Para detectar a mudança de faixa de rolamento, o algoritmo deve conhecer previamente a qual faixa o veículo se encontra. Em (ALMALAG; WEIGLE, 2010), esta abordagem é considerada e pressupõe-se que cada veículo conhece a faixa de rolamento na qual trafega através de um sistema de detecção de pista, como o sistema em (NAVTEQ, 2009).

Outra componente que dificulta o uso desta abordagem é a sequência de ativação da seta pelos motoristas. Na passagem dos veículos pela intersecção, a ativação das setas pelos motoristas é geralmente realizada de maneira gradual no tempo. Os intervalos de tempo para ativação da seta variam de acordo com a distância do veículo à intersecção e percepção do motorista. Normalmente, os veículos mais a frente ativam a seta primeiro, no que resulta em desagregações do agrupamento. Enquanto isso, os outros veículos mais distantes da intersecção que também almejam convergir, somente ativam a seta um período de tempo depois dos veículos adiante. A consequência deste efeito, é o particionamento e posterior fusão dentre estes nodos, resultando em instabilidades na manutenção dos agrupamentos envolvidos, com aumento nas refiliações e transferências de liderança.

Por fim, outro fator que compromete a utilização deste tipo de estratégia, para prever desagregações de agrupamentos, é o período de tempo em que o motorista antecipa a ativação da seta ao se aproximar da intersecção. Normalmente, motoristas sinalizam a mudança de pista quando estão muito próximos as intersecções, no que resulta em tempos muito curtos de ativação da seta. O tempo curto de ativação da seta prejudica a utilização da estratégia em prever a antecipação da desagregação do nodo no agrupamento.

## **5.2.2 Informação da rota planejada**

A rota planejada do veículo é constituída de todas as pistas pela qual este planeja trafegar ao longo do percurso previamente configurado no momento da partida deste. Portanto, este tipo de estratégia necessita capturar e determinar duas informações essenciais para seu correto funcionamento, que são: pista na qual o veículo trafega momentaneamente e próxima pista na rota planejada. Estas duas informações podem ser obtidas de sistemas de navegação que auxiliam o motorista no percurso de uma viagem, como em (NAVTEQ, 2009). Neste caso, um identificador único é associado a cada pista pela qual o veículo trafega, diferenciando-se também o sentido de direção em que o veículo locomove-se, evitando que nodos em sentidos opostos numa pista se associem.

Neste tipo de estratégia, o intuito é particionar o agrupamento antecipadamente a partir da identificação de todos os nodos que almejam trafegar pela mesma pista após a passagem por uma intersecção. Como a informação da rota planejada está disponível desde do início da trajetória dos veículos, esta particularidade permite realizar previsões de particionamentos, mesmo antes dos veículos desacelerarem e se aproximarem das regiões de intersecção, evitando que estes fatores desestabilizem a formação e manutenção do agrupamento.

Entretanto, um empecilho evidente deste tipo de estratégia, é o fato que motoristas que percorrem rotas curtas ou rotineiras, como por exemplo, trajeto entre residência-trabalho e vice-versa, dificilmente configuram sistemas de navegação para realizarem seus percursos. A ausência dos atributos da rota, como fonte de informação, prejudica o funcionamento do mecanismo de previsão proposto, pois os nodos sem a possibilidade de determinar a próxima pista dos nodos em sua vizinhança, não conseguem distinguir quais deles almejam o mesmo trajeto, inviabilizando o mecanismo de realizar a desagregação antecipada.

Contudo, este tipo de problema é amenizado e praticamente inexistente em cenários em que os veículos são embutidos com tecnologia autônoma, na qual o motorista necessariamente configura um ponto de partida e outro de chegada, e a partir destas informações, um sistema autônomo cria e utiliza uma rota de percurso para dirigir o veículo sem a necessidade da intervenção humana. Nesta área de estudo, inúmeras pesquisas desenvolveram-se nas últimas décadas, envolvendo diversas instituições, empresas de tecnologia e grandes centros de pesquisa (TIMES, 2010; REUSCHENBACH et al., 2011). Além disso, projetos com protótipos em fases avançadas já foram anunciados entre as maiores fabricantes de automóveis como a General Motors, Ford, Mercedes-Benz, Volkswagen, Audi, BMW, Volvo e Cadillac. A expectativa de utilizar esta plataforma de serviço, como suporte para o desenvolvimento deste mecanismo proposto, serve de motivação nesta dissertação.

### **5.2.3 Comparação das informações heurísticas**

Comparativamente, as estratégias que usufruem da informação da rota permitem prever com maior antecedência, se um nodo desagregará após a passagem do agrupamento por uma intersecção. A antecedência da informação da rota, decorre do fato que esta informação está disponível no sistema de mapeamento, embutido no veículo, desde o início do trajeto do veículo.

As estratégias que possuem a informação com maior antecedência tem a possibilidade de realizar a desagregação dos nodos antes que estes come-

cem a reduzir a velocidade, devido a proximidade com a intersecção. Os veículos que planejam converter uma curva, tendem a reduzir a velocidade para manobrar e contornar uma curva. Estas reduções de velocidade influenciam na formação do agrupamento, já que afetam diretamente os cálculos de velocidade média e centralidade do agrupamento, com efeitos no aumento do número de transferência de liderança e refiliações.

Enquanto isso, a informação da seta é dependente do comportamento dos motoristas, os quais podem sinalizar nos mais variados tempos e distâncias com relação a intersecção, além de admitir que os veículos reduzem de velocidade antes destes acionarem as setas. Assim, as estratégias que aproveitam a informação da seta, não conseguem ser determinísticas na atuação da desagregação e comparativamente com relação a estratégias que usam a rota, tem uma eficiência inferior.

Entretanto, a informação da rota nem sempre estará disponível nos veículos, seja por causa da ausência do sistema de mapeamento no veículo ou por questões comportamentais do motorista que não configura o sistema de mapeamento. A ausência das informações de mapeamento e rota neste casos inviabiliza que mecanismos utilizem a rota como elemento de predição, como o proposto na Seção 5.4.

Por isso, apesar das dificuldades e problemas relacionados a utilização da informação da seta como mecanismo de predição descritos nesta seção, esta estratégia torna-se uma alternativa interessante para antever uma desagregação de um nodo, nos casos em que os veículos não possuem ou não disponibilizam a informação de rota planejada para os nodos vizinhos dentro do agrupamento.

### 5.3 MECANISMO DE PREDIÇÃO INTERSECCIONAL VIA SETA

Considerando as características e dificuldades impostas pela utilização da informação da seta, descritas anteriormente, e o comportamento comum de motoristas em regiões próximas a intersecções, este trabalho de dissertação propõe um mecanismo que busca prever o particionamento de nodos do agrupamento a partir do acionamento da seta e senso de direção dos veículos.

#### 5.3.1 Descrição do mecanismo

O mecanismo de predição interseccional via seta assume que a informação da seta acionada por um nodo seja de conhecimento dos nodos vizinhos para que estes avaliem então a possibilidade de desagregação e re-

filiações nas proximidades da região de intersecção. Assim, atribui-se informações adicionais da seta junto a mensagem de sinalização, que são: i)  $A_i$ ; e ii)  $tw_i^k$ .

O campo  $A_i$ , indica o estado da seta do nodo  $i$  que são: *desligada*, *direita* e *esquerda*. O acionamento do pisca-alerta é considerado estado *desligado*, pois esta sinalização não informa mudança de direção por parte do motorista do veículo. O campo  $tw_i^k$  é utilizado pelo nodo líder de um agrupamento para indicar o instante de tempo que o nodo líder detectou o primeiro acionamento da seta por um dos nodos membros do agrupamento. Assim, este campo é configurado apenas pelos nodos líderes, enquanto que os nodos membros devem apenas reenviar o valor enviado pelo nodo líder em suas mensagens de sinalização.

Uma vez que a informação da seta é compartilhada entre os nodos vizinhos, o mecanismo está apto a atuar na predição de particionamento em intersecções. Entretanto, identificar a região de intersecção é um desafio para esta estratégia, já que assume-se que não há informações da localização da intersecção na pista. Por isso, a heurística embutida na proposta desta dissertação, prevê que, assim que o primeiro nodo do agrupamento acionar a seta, o líder é responsável por identificar e informar aos demais membros que o agrupamento está sob uma região de intersecção e, a partir disso, o agrupamento entrará num período de espera, para que outros nodos se manifestem com a mesma intenção de acionamento da seta.

Logo que o primeiro nodo do agrupamento aciona a seta, todos os nodos do agrupamento iniciam a identificação, em sua vizinhança, daqueles vizinhos que almejam a mesma pista após a passagem pela intersecção, através do algoritmo *Determinação Vizinhança Interseccional*, descrito na Subsecção 5.3.2. Desta maneira, um nodo  $i$  considerará válido apenas os nodos identificados com a mesma rota em sua lista de vizinhos.

A seleção dos nodos com rotas compatíveis na região de intersecção, restringe que um nodo  $i$  possa interagir com nodos vizinhos que inevitavelmente este perderá contato em breve, devido as trajetórias distintas entre ambos. Os nodos vizinhos que possuem rotas diferentes, não são mais considerados válidos para as tarefas de formação e manutenção do algoritmo SIGA. Contudo, estes vizinhos não são removidos da lista de vizinhos, apenas são identificados como inválidos, sem a necessidade de criação um novo estado, para interações relacionadas as tarefas de manutenção do agrupamento.

Por exemplo, um nodo membro  $i$  desfilia-se de um agrupamento liderado pelo nodo líder  $j$  assim que identifica que o nodo  $j$  almeja trafegar por outra pista. Outros nodos do agrupamento que identificaram a mesma incompatibilidade de rota, e planejam trafegar pela mesma pista, também desfiliam-se e caso não encontrem um líder com trajetória compatível em



sua vizinhança interseccional, estes iniciam a fase de formação de um novo agrupamento.

As etapas de avaliação e operação dos algoritmos do mecanismo proposto, a partir da informação da seta dos veículos e senso de direção, é descrito detalhadamente nas próximas seções. Ao final desta seção, exemplos da atuação do mecanismo de predição interseccional via seta, são apresentados.

### 5.3.2 Determinação da Vizinhança Interseccional

A estratégia de *Determinação da Vizinhança Interseccional* faz com que cada nodo avalie os nodos vizinhos que provavelmente prossigam pela mesma trajetória do nodo, a partir da heurística da informação da seta acionada pelos veículos envolvidos.

Nesta estratégia, um nodo  $i$  estima a partir das informações da seta, o senso de direção e a pista de tráfego dele e do nodo vizinho  $j$ , se estes prosseguem pela mesma trajetória na pista. As estimativas e avaliações realizadas pela estratégia são descritas no Algoritmo 11, a seguir.

No Algoritmo 11, o nodo  $i$  verifica se o agrupamento está num período de espera pelo acionamento das setas dos nodos, identificado pela componente  $T_w$ . A constante  $T_w$ , período de espera, permite que um número maior de nodos do agrupamento tenham suas setas ligadas simultaneamente, e assim ao final deste período, assegura que as avaliações do algoritmo sejam realizadas simultaneamente em todos os nodos do agrupamento.

Caso o agrupamento esteja no período do tempo de espera pela seta, o nodo  $i$  considera válido apenas o vizinho  $j$  que esteja na mesma pista de tráfego ou que participe do mesmo agrupamento de  $i$  (linhas 4 a 15). O objetivo é manter o agrupamento unido com todos os nodos, independente do estado da seta e pista em que estes trafegam. Postergando a decisão do particionamento, a qual é tomada apenas depois do estouro do tempo  $T_w$ .

Entretanto, caso o tempo de espera pela seta tenha expirado, o nodo  $i$  considera que o vizinho  $j$  o acompanha no trajeto em duas ocasiões distintas (linhas 17 a 32):

1. o nodo vizinho  $j$  que esteja na mesma pista de tráfego e que tem o mesmo estado de seta (linhas 19 e 20); e
2. o nodo vizinho  $j$  está em outra pista e tem estado da seta diferente do nodo  $i$ , linhas 22. Entretanto, constata-se que há compatibilidade no senso de direção entre os nodos  $i$  e  $j$ , através do acionamento das setas, linhas 24 e 25.

---

**Algoritmo 11: Determinação da Vizinhaça Interseccional**


---

```

1  início
2  /* Tempo de espera pela seta */
3  se  $((k - tw_i^k) < T_w)$  então
4      se nodo j está na mesma pista então
5          retorna Verdadeiro;
6      senão
7           $CH_i \leftarrow$  líder do nodo  $i$ ;
8           $CH_j \leftarrow$  líder do nodo  $j$ ;
9          /* Nodo j participa do mesmo agrupamento do nodo i */
10         se  $(CH_i = CH_j)$  então
11             retorna Verdadeiro;
12         senão
13             retorna Falso;
14     senão
15          $A_i \leftarrow$  estado da seta do nodo  $i$ ;
16          $A_j \leftarrow$  estado da seta do nodo  $j$ ;
17         se (nodo j está na mesma pista e  $(A_i = A_j)$ ) então
18             retorna Verdadeiro;
19         senão
20             se (nodo j está em outra pista e  $(A_i \neq A_j)$ ) então
21                 /* Avalia se há compatibilidade nas rotas, Algoritmo 12 */
22                 se  $(COMP\_ROTA_{(i,j)})$  então
23                     retorna Verdadeiro;
24                 senão
25                     retorna Falso;
26             senão
27                 retorna Falso;

```

---

A primeira ocasião, tem o intuito de particionar o agrupamento com os nodos que possuem o mesmo estado da seta, ou seja, particionar entre os nodos com a seta desligada e nodos com a seta ligada.

Enquanto isso, a segunda ocasião está relacionada as situações em que um nodo  $i$  está com a seta ligada e o vizinho  $j$  que já tenha adentrado na pista almejada pelo nodo  $i$  esteja com a seta desligada. Nestes casos a compatibilidade de rotas é avaliada através do *senso de direção*, função  $COMP\_ROTA_{(i,j)}$  que é descrita na Subsecção 5.3.3.1 pelo algoritmo 12.

### 5.3.3 Tempo de espera pela Seta

Quando um nodo aciona a seta este atualiza em suas mensagens de sinalização o estado da seta, para que os nodos vizinhos avaliem a intenção de trajetória que o motorista do veículo almeja realizar. O acionamento da seta por um nodo *membro*, além de informar a intenção do motorista de convergir numa curva adiante também serve de indicador para os outros nodos do agrupamento que eles estão se aproximando de uma região de intersecção.

Porém, nem todos os veículos do agrupamento acionam a seta ao mesmo tempo e, caracteristicamente, os acionamentos ocorrem gradualmente no tempo. Caso os nodos realizassem a desagregação de maneira imediata, a partir apenas do acionamento da seta, o agrupamento se formaria de maneira instável com agregações também graduais e que impactariam em inúmeras refiliações e transferência de liderança, por causa da constante mudança na centralidade do agrupamento.

Por isso, um tempo de espera é necessário para que um número maior de veículos acionem a seta num intervalo de tempo, indicando a intenção de convergirem juntos adiante. A formação deste subconjunto de nodos permite a criação de uma estratégia que realize uma desagregação em conjunto e no mesmo instante de tempo, amenizando os efeitos nocivos da desagregação, como refiliação e transferência de liderança. Do ponto de vista do agrupamento, ao invés de ocorrer desagregações parciais, um nodo por vez, a desagregação neste caso ocorre instantaneamente sobre um subconjunto de nodos.

Contudo, para realizar uma desagregação simultânea de um subconjunto de nodos, o início e a contagem deste tempo de espera deve ocorrer paralelamente em todos nodos do agrupamento. Para isso, um nodo do agrupamento deve responsabilizar-se em sinalizar simultaneamente a todos os nodos o início deste período de tempo, tarefa que atribui-se ao nodo líder, já que este possui comunicação direta com todos os nodos do agrupamento.

Assim, a partir do momento que o nodo líder detecta o primeiro nodo

do agrupamento que tenha acionado a seta, este configura em sua mensagem de sinalização um *timestamp* que indica o início do tempo de espera pela seta ( $tw_i^k$ ). Os nodos do agrupamento que tenham recebido esta mensagem de sinalização, iniciam a contagem do tempo de espera, o qual é determinado pelo limiar  $T_w$ .

Durante o tempo de espera, os nodos omitem a avaliação do estado da seta, como item desagregador de um agrupamento, ou seja, a informação da seta é desconsiderada das verificações que determinam a compatibilidade do senso de direção de nodos vizinhos. Nesta situação, o nodo considera válido todo nodo vizinho que esteja na mesma pista ou nodos que ainda se mantenham agregados ao agrupamento mesmo com a mudança de pista. A segunda situação ocorre quando um nodo que tenha mudado de pista durante o tempo de espera, ainda considera válido se manter agregado ao agrupamento original e postergar a desagregação apenas ao final do tempo de espera. O principal propósito do tempo de espera é impedir que nodos se desagreguem do agrupamento pelo fato de terem estado de seta diferente do nodo líder do agrupamento.

No final do tempo de espera pela seta, o nodo retornará as avaliações que verificam as trajetórias planejadas dos nodos, a partir da informação da seta, e irá desconsiderar os nodos vizinhos que possuem estado de seta diferentes e que não possuem o mesmo senso de direção.

O valor determinado à constante do tempo de espera ( $T_w$ ) é importante para formação do subconjunto, pois períodos longos permitem reunir o maior número possível de nodos que acionaram a seta. Deste modo, períodos longos demais permitem que os primeiros nodos que acionaram a seta, ao final deste período já tenham convergido na curva e prejudiquem a formação de agrupamentos com nodos em pistas distintas, por causa da centralidade. No caso de tempos de espera demasiadamente curtos, o problema é a desagregação não permitir reunir um número suficiente de veículos no subconjunto que desagregará, ocasionando a formação de vários subconjuntos para um mesmo agrupamento e se aproximando de um comportamento visto numa desagregação imediata.

Por isso, a determinação do tempo de espera pode considerar estudos comportamentais dos motoristas em intersecções, que avaliam tempos de reação para acionamento da seta, como descrito em (SATO; AKAMATSU, 2009).

### 5.3.3.1 Detector de compatibilidade no senso de direção

O detector de compatibilidade no senso de direção é usado pelo nodo para estimar se um nodo vizinho tem o mesmo senso de direção e trafega no mesmo sentido da pista. Contudo, com o advento da informação da seta, mesmo dois nodos que possuem sentidos de direção momentaneamente diferentes e que trafegam em pistas distintas, podem ter o mesmo senso de direção futuramente. Isto ocorre, nos casos em que a seta de um nodo indique uma direção que seja compatível com o senso de direção do outro nodo, então estes nodos são considerados com o mesmo senso de direção.

A estimativa de compatibilidade entre os sentidos de direção é avaliada a partir de uma margem de erro, que restringe o ângulo máximo de desvio entre os sentidos de direção de ambos os veículos envolvidos. Este limiar, representado pela constante  $SD_{TH}$ , determina a diferença angular máxima existente entre dois para considerá-los com compatibilidade no senso de direção. As intersecções normalmente são constituídas de pistas transversais em ângulos de  $90^\circ$ . Entretanto, erros na estimativa do senso de direção podem ocorrer, causados por intersecções que possuem curvas com ângulos acentuados ou mais suaves. Por isso, uma margem de tolerância é incluída por segurança para limitar e determinar um senso de direção similar entre dois veículos.

---

#### Algoritmo 12: Compatibilidade no senso de direção

---

```

1 início
2    $SD_i \leftarrow$  Recupera o senso de direção do nodo  $i$ ;
3    $SD_j \leftarrow$  Recupera o senso de direção do nodo  $j$ ;
4   se  $(|SD_i - SD_j| \leq SD_{TH})$  então
5     | retorna Verdadeiro;
6   senão
7     | retorna Falso;
```

---

No Algoritmo 12, as variáveis ( $SD_i$  e  $SD_j$ ) indicam o senso de direção previsto para os nodos  $i$  e  $j$ , respectivamente (linhas 2 e 3). Se a diferença nos ângulos dos sentidos de direção dos nodos  $i$  e  $j$  for menor que o limiar ( $SD_{TH}$ ) este considera a compatibilidade entre os nodos, caso contrário uma incompatibilidade é considerada (linhas 4 a 8).

### 5.3.3.2 Detector do senso de direção

O detector do senso de direção é usado pelo nodo para estimar o senso de direção a partir da informação da seta do veículo. O acionamento da seta,

indica a intenção do motorista em convergir uma curva numa intersecção adiante. Normalmente, as intersecções são constituídas de pistas transversais unidas em ângulos de  $90^\circ$  e assim, pode-se estimar um novo senso de direção que um veículo terá após a conversão de pista.

Para estimar o senso de direção de um nodo utiliza-se informações da seta e o atual senso de direção, e a partir deste parâmetros considera-se que o acionamento da seta irá alterar o ângulo do senso de direção em  $90^\circ$ .

As etapas de avaliação e cálculo para a estimativa do senso de direção são apresentados no algoritmo a seguir.

---

**Algoritmo 13:** Recupera o senso de direção estimado com a seta

---

```

1 início
2    $SD_i \leftarrow$  Captura atual senso de direção do nodo  $i$ ;
3    $A_i \leftarrow$  Estado da seta do nodo  $i$ ;
4   se ( $A_i = Desligada$ ) então
5     /* Sem indicação de mudança de pista o senso de direção se mantém o mesmo */
6     retorna  $SD_i$ ;
7   senão
8     se ( $A_i = Direita$ ) então
9       /* Indicação de deslocamento a direita remove-se 90 graus */
10      retorna ( $SD_i - 90^\circ$ );
11    senão
12      /* Indicação de deslocamento a esquerda soma-se 90 graus */
13      retorna ( $SD_i + 90^\circ$ );

```

---

No Algoritmo 13, a variável ( $SD_i$ ) indica o ângulo do atual senso de direção do nodo  $i$  e a variável ( $A_i$ ) indica o estado da seta. Caso a seta do veículo esteja desligada, estima-se que o senso de direção permanecerá o mesmo (linhas 4 a 6). Entretanto, se a seta está acionada, estima-se uma mudança de  $90^\circ$  no ângulo do senso de direção, com decréscimo de  $90^\circ$  para o estado de seta à *direita*, e acréscimo de  $90^\circ$  à esquerda, (linhas 8 a 14).

### 5.3.4 Exemplos da atuação da predição interseccional via seta

Nesta subsecção serão apresentados 2 exemplos da atuação do mecanismo de predição interseccional via seta, que visam esclarecer a dinâmica do mecanismo sob diferentes condições de tráfego e os impactos na manutenção dos agrupamentos, e destacar os benefícios com relação a SIGA.

#### Particionamento antecipado

Neste exemplo, um agrupamento aproxima-se de uma intersecção que

possui uma saída à direita da pista. O agrupamento é constituído de nodos que possuem rotas planejadas diferentes entre si, ou seja, alguns planejam continuar em frente e permanecer na via em que trafegam, enquanto que outros nodos almejam convergir à direita na intersecção. Nesta configuração, inevitavelmente o agrupamento sofrerá um particionamento e dispersão dos nodos constituintes. Entretanto, com o auxílio e atuação do mecanismo de predição intersecional via seta, realiza-se este particionamento antes mesmo do agrupamento chegar na intersecção, produzindo baixo número de refiliações e transferências de liderança, conforme é ilustrado na Figura 14.

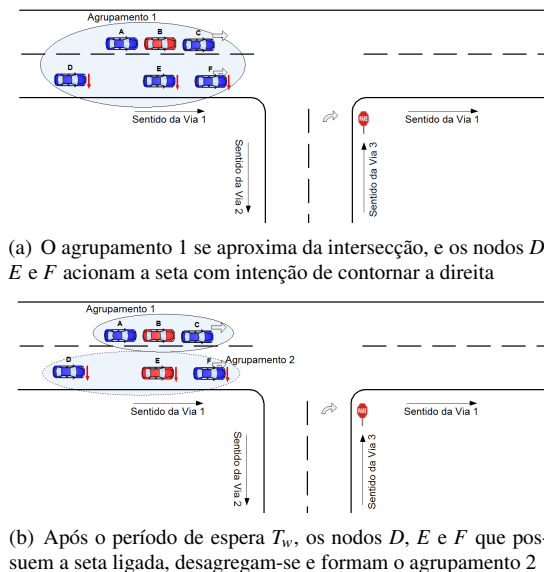


Figura 14 – Exemplo da atuação do mecanismo de predição intersecional via seta em uma Intersecção com saída à direita

Nota-se na Figura 14(a), o agrupamento 1 em aproximação a intersecção. Os nodos *A*, *B* e *C* desejam continuar em frente na via 1, enquanto que os nodos *D*, *E* e *F* planejam converter à direita e trafegar na via 3. O nodo *F*, que localiza-se mais próximo da intersecção, é o primeiro a acionar a seta à direita. Este evento, faz com que o campo  $NA_i$  da sua próxima mensagem de sinalização tenha o valor *direita*. O nodo líder *B*, assim que recebe esta mensagem do nodo *F*, detecta que este é o primeiro nodo do agrupamento a acionar a seta e a partir deste momento, ele recupera o *timestamp* atual e configura o campo  $tw_i^k$  das próximas mensagens de sinalização.

A recepção da mensagem de sinalização com a informação atualizada no campo  $tw_i^k$ , enviada pelo nodo líder  $B$ , é interpretada pelos nodos membros como o início do tempo de espera pela seta. Durante o período  $T_w$ , os nodos aguardam que outros vizinhos acionem suas setas para então realizar a desagregação simultaneamente.

Com o término do tempo de espera pela seta, os nodos retornam a avaliar quais são os vizinhos interseccionais válidos. Os nodos  $D$ ,  $E$  e  $F$ , verificam que o nodo  $B$  líder do agrupamento possui o estado de seta diferente com relação ao deles, e desconsideram-o como vizinho válido para agregação. Como não há outro agrupamento na região, os nodos  $D$ ,  $E$  e  $F$  tornam-se indecisos e iniciam uma eleição, culminando na formação do agrupamento 2 com liderança do nodo  $E$ , como ilustrado na Figura 14(b).

Logo após a formação do agrupamento 2, coexistem dois agrupamentos, que pelas regras do mecanismo de manutenção de SIGA iniciariam uma fusão entre os agrupamentos 1 e 2. Entretanto, a fusão não ocorre devido a restrição imposta pelo mecanismo de predição que invalida vizinhos  $j$  com estado da seta diferentes interagirem entre si, já que possuem rotas distintas. Desta maneira, os dois agrupamentos trafegam por um breve momento lado a lado, sem que haja fusão entre eles.

### **Agrupamento com dispersão a direita**

Neste outro exemplo, ilustrado na Figura 15, todos os nodos de um agrupamento almejam converter à direita na intersecção. Os acionamentos das setas dos veículos ocorrem na ordem de proximidade à intersecção, ou seja, o nodo mais próximo aciona a seta primeiro e assim por diante. O objetivo é demonstrar como o mecanismo permite que os nodos deste agrupamento mantenham-se coesos durante a travessia na intersecção, sem a necessidade de haver reconfigurações ou particionamentos de membros, causados pela mudança de pista gradual dos nodos.

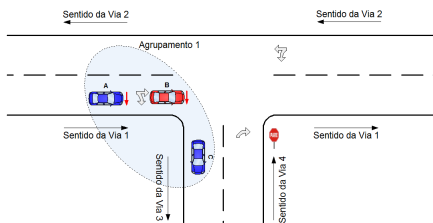
Nota-se na Figura 15(a), a aproximação dos nodos do agrupamento 1 a intersecção, e todos os nodos com a seta à direita acionada. O nodo  $C$  foi o primeiro a acionar a seta com indicação à direita. Logo após o anúncio do estado da seta, via o campo  $NA_i$ , o líder  $B$  divulga em sua mensagem o início do tempo de espera pela seta. No decorrer do tempo, durante o período de espera da seta, os nodos  $B$  e  $A$ , também acionam a seta.

No momento em que o tempo de espera pela seta se esgota, os nodos  $A$ ,  $B$  e  $C$  avaliam simultaneamente os vizinhos interseccionais válidos de acordo com a informação da seta. Portanto, o agrupamento 1 se mantém coeso e sem mudança de liderança, já que todos os nodos possuem o mesmo estado de seta  $NA_i$ , e consideram-se válidos entre si.





(a) Nós *B* e *A* também acionam a seta, e consequentemente todos os nós estão com a seta acionada



(b) O membro *C* converte a curva a direita e mantém-se agregado na travessia na intersecção

Figura 15 – Exemplo de atuação do mecanismo de previsão via seta com todos os nós contornando à direita na intersecção

No decorrer do tempo, o nó *C* é o primeiro nó a converter a curva. No momento em que o nó *C* adentra na via 3, o veículo automaticamente desliga a seta. Nesta ocasião, o nó *C* poderia se desagregar do agrupamento 1, já que o nó *C* está localizado em outra pista e com seta desligada. Entretanto, o mecanismo detecta este tipo de situação com a avaliação do senso de direção, descrito em 5.3.3.1, que prevê que os nós *A* e *B* também devem trafegar na mesma pista em que *C* localiza-se. Com isso, o nó *C* considera válidos os vizinhos do agrupamento 1 e vice-versa, e mantém-se agregado, conforme demonstrado na Figura 15(b). Na sequência, as mesmas avaliações ocorrem quando os nós *B* e *A*, respectivamente, contornam a curva.

No exemplo apresentado, o mecanismo permitiu que o agrupamento atravessasse uma intersecção, com mudança de pista, sem que esta ação afetasse a formação do agrupamento original, criando uma estabilidade comprovada pelo fato de não haver nenhuma transferência de liderança, refiliação ou fusão, quando comparada com a estratégia original em SIGA.

## 5.4 MECANISMO DE PREDIÇÃO INTERSECCIONAL VIA ROTA

O mecanismo de predição interseccional via rota recorre as informações das rotas planejadas, disponibilizadas pelos sistemas de navegação embutida nos veículos, para desenvolver uma heurística que indique os nodos da vizinhança que possuem a mesma trajetória após a passagem por uma intersecção.

Para isso, cada nodo deve divulgar periodicamente através das mensagens de sinalização, a próxima pista que este planeja trafegar, para que então seus vizinhos avaliem a compatibilidade entre as rotas.

A identificação dos vizinhos com rotas compatíveis permite, por exemplo, que um nodo decida manter-se agregado ao atual agrupamento ou se este deve refiliar-se em busca de um agrupamento com rota compatível. Com isso, o mecanismo evita que os nodos mantenham-se associados a agrupamentos que se dispersam por pistas distintas da qual o nodo pretende trafegar, evitando refiliações, reconfigurações e transferências desnecessárias.

Entretanto, o mecanismo de predição interseccional restringe-se a atuar somente durante o período em que o nodo estiver próximo as regiões de intersecção. Por isso, a determinação da área de pista correspondente a região de uma intersecção faz-se necessária para a correta operação da heurística do mecanismo.

Contudo, além de identificar a região de intersecção os nodos devem realizar particionamentos dos agrupamentos de maneira coordenada, para que não haja desagregações parciais e graduais, as quais causariam ainda mais mudanças na formação do agrupamento e instabilidade na manutenção deste. Assim, o líder do agrupamento encarrega-se de identificar e anunciar, aos demais membros do agrupamento, se há algum nodo integrante que esteja sobre a região de intersecção, para que então, estes deem início as avaliações que visam determinar quais os vizinhos com rotas compatíveis na vizinhança.

Desta forma, uma vez que o nodo líder tenha anunciado que o agrupamento está numa região de intersecção, cada nodo  $i$  do agrupamento considerará válido os vizinhos  $j$  em três ocasiões distintas, que são:

1. Vizinho  $j$  que sinalizar como próxima pista de tráfego, a mesma pista que o nodo  $i$  almeja trafegar. O nodo  $j$  pretende convergir para a mesma pista em que o nodo  $i$  irá trafegar futuramente;
2. Vizinho  $j$  localizado na pista em que o nodo  $i$  almeja trafegar. Neste caso, o nodo  $j$  localiza-se na pista em que futuramente o nodo  $i$  pretende trafegar e convergir; e
3. Vizinho  $j$  que sinalizar como próxima pista de tráfego, a pista em que

o nodo  $i$  localiza-se atualmente. O nodo  $j$ , acompanhará futuramente, o nodo  $i$  na pista.

Estas avaliações, que são realizadas apenas durante a passagem do nodo  $i$  por uma região de intersecção, permitem que ocorram particionamentos antecipados nos agrupamentos. Além disso, as estimativas proporcionam que um agrupamento mantenham-se coeso durante a travessia de uma intersecção caso todos os membros participantes planejem realizar uma manobra de mudança de pista.

Os detalhes das mensagens de sinalização, identificação da região interseccional, determinação dos vizinhos válidos nesta região e funcionamento do mecanismo de predição interseccional via rota são descritos a seguir.

#### 5.4.1 Mensagem de sinalização com informação da rota

O mecanismo de predição interseccional via rota pressupõe que os nodos possuam um mapa de navegação e a cada instante de tempo, os nodos reconhecem a pista na qual trafegam e a próxima pista que devem trafegar de acordo com o planejamento previamente estabelecido na rota. A partir disso, o mecanismo proposto assume que a informação da próxima pista planejada por um nodo, seja de conhecimento dos nodos vizinhos, para que estes avaliem a possibilidade de desagregação e refiliações nas proximidades da região de intersecção. Para isso, cada nodo deve divulgar em suas mensagens de sinalização dois campos sobressalentes, que são: i)  $NP_i$ ; e ii)  $RS_i$ .

O campo  $NP_i$  contém o identificador da próxima pista a qual o nodo  $i$  almeja trafegar, determinada pela rota planejada no nodo  $i$ .

Enquanto que o campo  $RS_i$  é usado pelo nodo líder para indicar, aos nodos participantes do agrupamento, que um dos nodos membros está na região de intersecção. Assim, este campo contém dois valores: *verdadeiro* ou *falso*. A partir do instante em que o líder divulga este campo com o valor *Verdadeiro*, somente nodos membros que possuem rotas compatíveis, com este líder, mantêm-se agregados ao agrupamento.

#### 5.4.2 Segmentação da pista na região de intersecção

Para a correta avaliação e atuação do mecanismo de predição interseccional via rota, faz-se necessário determinar um segmento de pista, que possibilite o nodo identificar a proximidade com relação a uma região de intersecção. O segmento de pista anterior a intersecção, corresponde a região em que os veículos reduzem a velocidade quando almejam contornar uma

curva na intersecção, tendo impacto direto na formação do agrupamento e por isso a importância da identificação da região em que este fenômeno ocorre na pista. A dimensão desta região depende diretamente das características da intersecção e velocidades permitidas na pista. Ou seja, pistas com velocidades limites maiores devem possuir regiões antecessoras maiores.

O segmento sucessor é a área da pista posterior a intersecção e alcançável por um raio de comunicação. Enquanto trafega sobre esta região o nodo permanece realizando as análises do mecanismo para a manutenção do agrupamento, por isso justifica-se o tamanho desta região em um raio de comunicação.

A Figura 16, ilustra um exemplo que apresenta as demarcações dos segmentos numa intersecção.

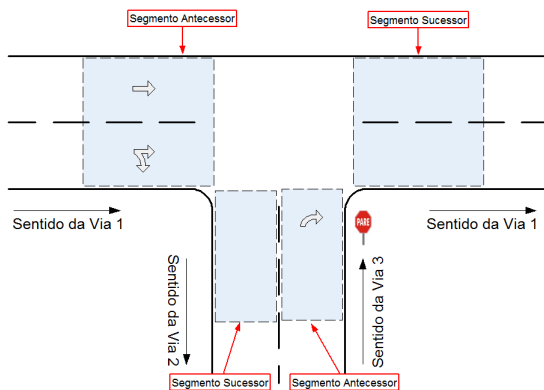


Figura 16 – Exemplo de segmentação numa intersecção com saída à direita, que possui dois segmentos antecessores e dois segmentos sucessores.

### 5.4.3 Determinação da Vizinhança Intersecional

A aproximação do agrupamento com relação a intersecção é percebida em diferentes momentos pelos nodos de um agrupamento. Os nodos mais adiantados são os primeiros a se aproximarem da intersecção e consequentemente os primeiros a reduzirem de velocidade quando necessitam realizar mudanças de pista.

Por isso, a desagregação dos nodos deve atuar antes que estes atinjam a intersecção e iniciem a redução de velocidade, o que proporciona a formação de agrupamentos mais coesos e com um número menor de transferências de

liderança e refiliações, já que os nodos realizariam tais tarefas antes que os efeitos de redução de velocidade atinjam o agrupamento como um todo.

Entretanto, a desagregação antecipada não deve iniciar individualmente em cada nodo do agrupamento, ou seja, considerando apenas a aproximação do nodo a intersecção, pois este tipo de estratégia permitiria ocorrer desagregações parciais e graduais em um agrupamento, já que os nodos percebem a aproximação a intersecção em diferentes momentos.

Assim, a desagregação deve ser sincronizada no tempo para que as novas formações de agrupamento possam ocorrer com poucas mudanças de lideranças e refiliações. Para isso, o momento oportuno para iniciar a execução do mecanismo de predição é quando um dos nodos do agrupamento atinge o segmento antecessor, considerado um marco para as decisões de desagregação. Este evento serve de indicador ao agrupamento como um todo, que este está próximo a uma intersecção e de que todos os nodos que possuem rotas distintas com relação ao líder devam se desagregar.

Por isso, o mecanismo proposto pressupõe que a aproximação de um dos nodos do agrupamento a intersecção, é um evento que deve ser compartilhado entre todos os nodos, para que então todos possam avaliar e comparar simultaneamente as rotas deles e o líder do agrupamento e determinar se estas são compatíveis ou não. Para isso, o nodo líder é responsável por monitorar as posições de todos os nodos agregados ao agrupamento, e assim que este detectar que um deles está sobre o segmento antecessor, o nodo líder informa através do campo  $RS_i$  da mensagem de sinalização que o agrupamento está na região de intersecção.

A partir da recepção desta mensagem de sinalização, um nodo  $i$  membro deste agrupamento, identifica se está sobre um dos segmentos, antecessor ou sucessor, e então avalia a localização de seus vizinhos e o ID da próxima pista anunciada por estes, e compara com seus próprio atributos. Os vizinhos  $j$  que almejem rotas distintas com relação ao nodo  $i$ , são invalidados na lista de vizinhos do nodo  $i$ , impedindo que o nodo  $i$  considere e utilize estes vizinhos nas tarefas de manutenção e formação do agrupamento. Por exemplo, caso o nodo  $i$  esteja no estado *membro-gateway*, e o vizinho invalidado pelo mecanismo seja o nodo líder do agrupamento em que o nodo  $i$  participa, a invalidade deste nodo levará o nodo  $i$  a desagregar-se buscando outros agrupamentos na vizinhança, que possuem rotas similares e caso não encontre tais agrupamentos, o nodo  $i$  iniciará um processo de formação.

O mecanismo proposto busca identificar vizinhos  $j$  que possuem rotas diferentes com relação ao nodo  $i$ , e assim restringir as interações com relação a formação e manutenção de agrupamentos com estes vizinhos. Além disso, a atuação do mecanismo ocorre somente durante o período em que o nodo  $i$  estiver localizado sobre um dos segmentos de intersecção, restringindo a

atuação deste mecanismo em regiões interseccionais.

Portanto, o mecanismo avalia a rota em dois momentos distintos: nodo sobre segmento antecessor e nodo sobre o segmento sucessor. Durante a passagem do nodo  $i$  pelo segmento antecessor, este determina se um nodo vizinho  $j$  tem rota compatível, caso uma das seguintes premissas seja respeitada:

1. nodo  $j$  está no segmento antecessor ou antes deste e o ID da próxima pista do nodo  $j$  é o mesmo ID da próxima pista anunciada pelo nodo  $i$ ;  
e
2. nodo  $j$  está localizado no segmento sucessor que possui o mesmo ID da próxima pista anunciada pelo nodo  $i$ .

Caso o nodo  $i$  esteja antes do segmento antecessor, mas o líder do agrupamento tenha anunciado através do campo  $RS_i$  que algum nodo do agrupamento esteja na região de intersecção, o nodo  $i$  terá as mesmas premissas como se estivesse localizado no segmento antecessor.

Contudo, a outra situação de avaliação ocorre quando o nodo  $i$  atravessa pelo segmento sucessor, e este identifica os vizinhos  $j$  localizados no segmento antecessor e o ID da próxima pista do nodo  $j$ , e caso o ID não seja a pista em que o nodo  $i$  localiza-se, ele invalidará  $j$ .

O Algoritmo 14, representa os passos realizados por um nodo  $i$ , para determinar se um nodo vizinho  $j$ , acompanha-o ou não  $i$  pela região de intersecção.

---

#### Algoritmo 14: Determinação da Vizinhança Interseccional

---

```

1 início
2    $P_i \leftarrow$  posição atual do nodo  $i$ 
3    $P_j \leftarrow$  última posição conhecida de  $j$ 
4   se (  $P_i$  está no segmento antecessor ou antes do segmento antecessor da intersecção )
5     então
6       se (  $(P_j \neq$  segmento sucessor) e  $($ Próxima pista de  $j =$  Próxima pista de  $i)$  ) então
7         retorna verdadeiro;
8       se (  $(P_j =$  segmento sucessor) e  $($ Próxima pista de  $j =$  Próxima pista de  $i)$  ) então
9         retorna falso; /* Não respeitas as premissas para o segmento antecessor */
10    senão
11      se (  $P_i$  está sobre o segmento sucessor ) então
12        se (  $(P_j =$  segmento antecessor) e  $($ Próxima pista de  $j =$  Atual pista de  $i)$  )
13          então
14            retorna verdadeiro;
14          retorna falso; /* Não respeitas as premissas para o segmento sucessor */

```

---

A partir da determinação da vizinhança interseccional, o nodo  $i$  utiliza-se das estratégias originais propostas em SIGA para realizar a manutenção

e a formação do agrupamentos. Contudo, os mecanismos de formação e manutenção propostos em SIGA precisam de modificações de ajuste para a inclusão do mecanismo que avalia a Determinação da Vizinhança Interseccional. As modificações pretendem a manutenção do contato do nodo apenas com outros nodos que possam acompanhar no trajeto sobre a região de intersecção, ou seja, mesma rota. Conforme descrito anteriormente nesta seção, os nodos que não estejam na região de intersecção, o comportamento das tarefas de manutenção e formação permanecem com o comportamento original descrito na proposta de SIGA.

#### 5.4.4 Exemplos da atuação da predição interseccional via rota

Nesta subseção serão apresentados 2 exemplos que demonstram como o mecanismo de predição interseccional via rota atua na manutenção do agrupamento quando este localiza-se em regiões de intersecção.

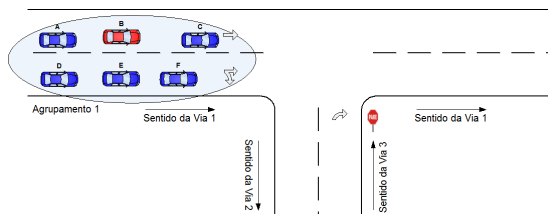
##### Particionamento antecipado

Este primeiro exemplo, apresenta as etapas realizadas no mecanismo de predição para a antecipação no particionamento de um agrupamento, quando determina-se que as rotas planejadas dos nodos são distintas após a passagem pela intersecção. A Figura 17, ilustra o agrupamento 1 antes do particionamento e após a desagregação dos nodos com rotas distintas do líder *B*.

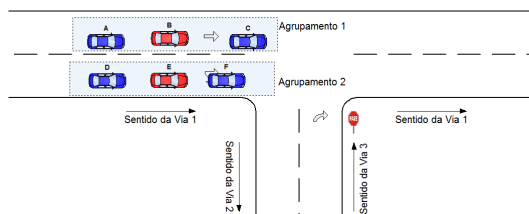
A Figura 17(a), ilustra a formação do agrupamento 1, próximo a uma intersecção, antes da atuação do mecanismo de predição interseccional. Neste cenário, os nodos *D*, *E* e *F* possuem rotas pré-definidas que divergem em relação ao líder *B*, pois eles planejam converter à direita e trafegar na via 2, enquanto que o líder *B* deseja continuar na via 1.

O nodo mais próximo durante a aproximação do agrupamento à intersecção é o nodo *C*. Por isso, assim que este alcançar a distância imposta pelo segmento antecessor da intersecção, inicia-se as análises do mecanismo de predição interseccional via rota. O nodo líder *B* é responsável por monitorar e identificar os nodos membros que alcançam o segmento antecessor, e uma vez identificado este sinaliza aos demais membros, através do campo  $RS_i$  que o agrupamento localiza-se numa região de intersecção. Logo que recebem a mensagem de sinalização confirmando que o agrupamento está na região de intersecção, os nodos *A* e *C*, avaliam que a próxima pista almejada pelo nodo líder *B* é igual a pista que estes também planejam, e por isso, eles permanecem agregados ao agrupamento 1.

Enquanto isso, os nodos *D*, *E* e *F* avaliam que suas rotas divergem com



(a) O agrupamento 1 aproximando-se da interseção, antes da atuação do mecanismo de predição. Os nodos *D*, *E* e *F* possuem rotas diferentes com relação ao líder *B*



(b) O agrupamento 1 particiona-se em dois, e forma-se o agrupamento 2 com os nodos que tem rotas diferentes do líder *B*

Figura 17 – Atuação da predição interseccional via rota numa intersecção

relação ao líder *B*, levando estes a buscarem outros agrupamentos para realizarem uma refiliação. Entretanto, como estes nodos não encontram nenhum líder na pista planejada nem outro líder que planeja trafegar na via 2, estes tornam-se indecisos e iniciam uma nova formação, resultando na formação do agrupamento 2, elegendo o nodo *E* como líder deste agrupamento, conforme ilustrado na Figura 17(b).

Uma característica observável neste cenário, condiz com a conversão a direita que os nodos do agrupamento 2 realizam no decorrer do tempo. Os nodos deste agrupamento, experimentam normalmente uma redução de velocidade para contornar a curva e subsequente aceleração após a passagem para a via 2. Portanto, os nodos do agrupamento 2, possuem comportamentos de velocidade similares, mesmo que em momentos distintos, e a formação antecipada deste agrupamento contribui para um agrupamentos mais estável, já que seus membros compartilham de similaridades comportamentais nestas regiões e a velocidade é um dos fatores preponderantes para o cálculo dos mecanismos de formação e manutenção em SIGA.

De forma análoga, os nodos do agrupamento 1, pelo fato de continuarem a trafegar, em frente, na via 1 também possuem similaridade de comportamento entre si, normalmente com manutenção da velocidade de tráfego.



Entretanto, neste mesmo tipo de cenário caso utilizasse o mecanismo de manutenção de SIGA, este sofreria com constantes transferências de liderança, causados por dois fatores: i) desagregação gradual de nodos na mudança de pista; e ii) velocidades distintas entre os nodos do mesmo agrupamento (nodos que reduzem para contornar à direita e outros que continuam a trafegar na via).

O primeiro fator, corresponde a saída à direita dos nodos, que ocorre em tempos distintos, afetando as componentes de centralidade e velocidade, a cada mudança de pista de um nodo integrante. Com relação, ao segundo fator, a redução de velocidade dos nodos que planejam converter à curva pode alterar significativamente o cálculo de velocidade relativa no agrupamento levando a transferências de liderança. O índice de transferência nesta situação depende diretamente de componentes do agrupamento, como: número de nodos que contornam a curva, distribuição do agrupamento, diferença na velocidade entre os nodos que contornam a curva com relação aos nodos que continuam na pista.

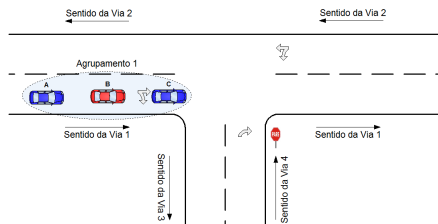
### **Agrupamento com dispersão a direita**

Neste exemplo, ilustrado na Figura 18, apresenta-se um cenário em que todos os nodos de um agrupamento almejam converter a intersecção à direita. Porém, a mudança de pista dos nodos não interfere na formação do agrupamento, o qual se mantém-se coeso durante a manobra para a nova via.

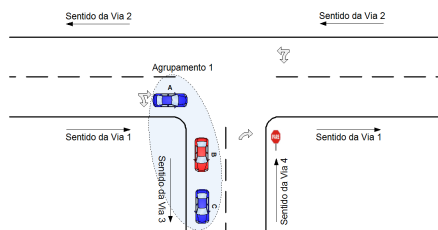
Na Figura 18(a), os nodos do agrupamento 1 se aproximam da intersecção e planejam todos converter à direita da intersecção, mudando para a pista a via 3. Conforme descrito anteriormente, o mecanismo propõe que o nodo inicie a avaliação da próxima pista dos vizinhos, a partir do momento em que seu líder do agrupamento a qual pertence tenha sinalizado que o agrupamento está na região de Intersecção.

Dentre os nodos do agrupamento, o nodo *C* é o mais próximo da intersecção. Por isso, logo que o líder *B* identifica que o nodo *C* está no segmento antecessor, este sinaliza aos demais nodos, através do campo  $RS_i$ , que o agrupamento está na região de intersecção. Logo que recebem esta mensagem de sinalização do líder, os nodos membros *A* e *C* verificam se a próxima rota planejada pelo líder é compatível com a deles, através do campo  $NP_i$  anunciado pelo líder. Neste caso, eles mantem-se agregados ao agrupamento 1, pois ambos possuem rotas similares, ou seja, trafegar na via 3.

Em seguida, os nodos *B* e *C* convertem à direita e o nodo *A*, ao perceber a mudança de pista do atual líder, avalia se a pista na qual *B* está localizado é a mesma pista da qual este almeja trafegar. Como o nodo *A* possui um trajeto planejado pela mesma via na qual o líder *B* está localizado, o nodo mantém-



(a) Os nodos do agrupamento 1 aproximam-se da interseção e todos almejam contornar a direita



(b) Os nodos *B* e *C* já contornaram para a via 2, entretanto o nodo *A* mantém-se agregado a eles, pois a próxima via a trafegar é a mesma em que os nodos *B* e *C* localizam-se

Figura 18 – Atuação da predição interseccional via rota com saída à direita

se agregado ao agrupamento, conforme ilustrado na Figura 18(b). Por fim, o nodo *A* também converte à direita, e o agrupamento original mantém-se inalterado após realizar a mudança de pista.

Caso este mesmo cenário, apresentado na Figura 18, utiliza-se da estratégia original em SIGA, o agrupamento teria uma desagregação do nodo *C*, logo que este adentra-se na via 3, conseqüentemente formando 2 agrupamentos. No decorrer do tempo, o nodo *B* realizaria uma mudança de pista para a via 3 e uma fusão ocorreria entre os nodos *B* e *C* (ambos líderes), formando um novo agrupamento. Enquanto isso, o nodo *A* percebendo que o líder do agrupamento não localiza-se mais na mesma via em que ele trafega, iniciaria uma formação e se auto proclamaria líder de outro agrupamento. Em seguida, um período de tempo depois, o nodo *A* também adentraria na via 3 e como existiriam dois agrupamentos nesta via, uma nova fusão ocorreria entre os agrupamentos, resultando no agrupamento original.

O objetivo deste exemplo, é apresentar como o mecanismo de predição interseccional via rota diminui o número de fusões nos casos em que os nodos de um agrupamento alternam de pista conjuntamente. As fusões nesta

configuração de cenário são consideradas desnecessárias, já que os nodos do exemplo trafegam por rotas similares. O mecanismo permitiu que o agrupamento atravessasse uma intersecção, com mudança de pista, sem que esta ação afetasse a formação do agrupamento original, criando uma estabilidade comprovada pelo fato de não haver nenhuma transferência de liderança, refiliação ou reconfiguração.

## 5.5 PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DOS MECANISMOS DE SIGA

As modificações propostas em SIGA inserem-se no algoritmo de *Atualização da vizinhança*, descrito no Capítulo 3. Cada estratégia de predição interseccional insere-se diferentemente no contexto deste Algoritmo. Porém, ambas são inseridas numa funcionalidade adicional, identificada como F4, que é avaliada periodicamente.

Vale ressaltar que ambas as tarefas não executam paralelamente. Assim, o conjunto de veículos opta por utilizar apenas uma das estratégias durante o trajeto pela pista. A seguir, o algoritmo proposto com as devidas modificações para realizar a predição e identificação dos vizinhos válidos na região interseccional.

Observa-se no Algoritmo 15 que as funcionalidades originais do algoritmo de atualização de vizinhança, descritas na Seção , são representadas pelas funcionalidades F1, F2 e F3 (linhas 4 a 9). Logo após as três funcionalidades do sistema SIGA, inclui-se a alteração proposta no Algoritmo 15, que consiste na inclusão da quarta funcionalidade, linhas (10 a 25), que periodicamente avalia todos os vizinhos válidos numa região interseccional.

No Algoritmo 15, opta-se por uma das estratégias de predição (linha 12), e caso decide-se pela predição interseccional via seta, a determinação da vizinhança válida na região é executada periodicamente. A ocorrência periódica desta funcionalidade é necessária para o calculo do tempo de expiração pela espera da seta o qual deve ser continuamente avaliado para determinar os vizinhos válidos, e caso não seja, invalida-se  $j$ , linhas 15 e 16.

A estratégia de predição via rota, linhas 17 a 25 tem a premissa de ocorrer no instante em que o líder do agrupamento anunciar que o agrupamento está na região interseccional ou quando o nodo esteja no estado *indeciso* e este identifica que localiza-se na região de intersecção.

---

**Algoritmo 15:** Algoritmo de atualização de vizinhança proposto
 

---

```

1  início
2  |  $t_i^{send} \leftarrow 0$  /* sinalização anterior*/
3  | repita
4  |   | Funcionalidade: F1
5  |   | /* Recepção de mensagens e atualização da vizinhança */
6  |   | Funcionalidade: F2
7  |   | /* Remoção do nodo  $j$  da vizinhança de  $i$  */
8  |   | Funcionalidade: F3
9  |   | /* Difusão de Mensagens de Sinalização */
10 |   | Funcionalidade: F4
11 |   | /* Invaldar vizinhos nas regiões de Intersecção */
12 |   | se (Estratégia de predição interseccional via seta) então
13 |   |   | para (todos os vizinhos  $j$ ) faça
14 |   |   |   | DeterminacaoVizinhancaInterseccional(i,j)
15 |   |   |   | se (Nodo  $j$  não acompanha nodo  $i$ ) então
16 |   |   |   |   | Invaldar nodo  $j$  da lista de vizinhos;
17 |   |   | senão
18 |   |   |   | /* estratégia de predição interseccional via rota */
19 |   |   |   |  $RS_i \leftarrow$  Agrupamento de  $i$  sobre a região interseccional
20 |   |   |   |  $P_i \leftarrow$  posição atual do nodo  $i$ 
21 |   |   |   | se (((nodo  $i$  é membro ou líder) e ( $RS_i = verdadeiro$ ))
22 |   |   |   |   | ou ((nodo  $i$  é indeciso) e  $P_i$  está na região de
23 |   |   |   |   | intersecção)) então
24 |   |   |   |   | para (todos os vizinhos  $j$ ) faça
25 |   |   |   |   |   | DeterminacaoVizinhancaInterseccional(i,j)
26 |   |   |   |   |   | se (Nodo  $j$  não acompanha nodo  $i$ ) então
27 |   |   |   |   |   |   | Invaldar nodo  $j$  da lista de vizinhos;
28 |   |   |   |   | até sempre;

```

---

## 5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Uma visão geral dos mecanismos propostos para realizar desagregações antecipadas em regiões de intersecções. Os mecanismos utilizam-se de informações disponíveis no veículo, como estado da seta e mapa digital com a rota planejada do veículo, para prever um particionamento de um agrupamento, quando este se aproxima de uma região de intersecção.

Análises comportamentais dos agrupamentos em cenários de exemplos, desenvolvidos em regiões interseccionais, foram discutidos e demonstrados seus impactos sobre a os mecanismos de manutenção e formação. Além disso, as análises nos cenários de exemplo foram realizadas sob o ponto de vista do sistema SIGA e com a inserção dos mecanismos de predição interseccionais propostos neste trabalho.

Por fim, as modificações algorítmicas necessárias nos mecanismos de formação e manutenção do sistema SIGA, também foram apresentadas e discutidas.



## 6 AVALIAÇÃO DAS PROPOSTAS

Neste capítulo, são apresentados e avaliados os resultados das simulações para os mecanismos propostos e descritos nos capítulos 4 e 5.

Os cenários de simulação incluem simuladores de rede e tráfego, que integrados permitem avaliar o desempenho dos mecanismos preditivos em cenários de rodovias urbanas com sistemas semafóricos e intersecções. Para avaliar os impactos da introdução destes mecanismos, utilizaram-se métricas de avaliação, com o intuito de medir o desempenho. As métricas compõe-se dos seguintes itens: duração do agrupamento, média de transferências, média do número de reconfigurações, média de reafiliações e média do número de agrupamentos.

Este capítulo primeiro apresenta as métricas de avaliação empregadas, na Seção 6.1. Em seguida, na Seção 6.2, são descritas as ferramentas de simulação utilizadas neste trabalho.

Por fim, as características dos cenários e os resultados obtidos nos experimentos são apresentados e analisados sob a perspectiva da robustez, na Seção 6.3. Nesta seção, discute-se também os resultados de desempenho do sistema SIGA com os mecanismos quando comparada ao sistema SIGA inicial, a partir da plotagem das métricas.

### 6.1 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

As métricas propiciam descrever as características do sistema que objetivam avaliar, fornecendo uma definição quantitativa do desempenho e uma visão fundamental dos problemas que estes almejam resolver.

Conforme apresentado em (CAMBRUZZI, 2013), o desempenho dos sistemas de gerenciamento de agrupamentos podem ser avaliados por meio de métricas que verificam a robustez e a eficiência dos mecanismos de comunicação, formação e manutenção de agrupamentos.

A robustez demonstra a adaptabilidade as mudanças do contexto da comunicação causados por atrasos e perdas de mensagens, que ocorrem comumente no ambiente das VANETs.

A eficiência se traduz na capacidade da arquitetura em disponibilizar a qualquer tempo e com o menor índice de erro, informações sobre os nodos da rede, principalmente dos veículos trafegando sobre as vias.

As métricas possibilitam a formulação de conclusões sobre o comportamento dos mecanismos propostos no sistema SIGA. A descrição detalhada das métricas utilizadas neste trabalho são apresentadas abaixo:

1. **M1 - Tempo médio de duração dos agrupamentos:** Esta métrica corresponde ao tempo transcorrido desde o momento da formação do agrupamento, até o instante que se extingue. Um agrupamento termina quando o nodo líder deixa de existir, por exemplo, devido a fusão com outro agrupamento, por ter abandonado a pista ou se apresenta algum tipo de falha que o impede de se comunicar. O aumento na duração dos agrupamentos é resultado direto da redução do número de quebras dos enlaces de comunicação entre os nodos e também é um indicativo de que a rede é topologicamente mais estável. Manter os membros dos agrupamentos juntos pelo maior tempo possível, reduzindo partições e fusões, contribui para o aumento da duração dos agrupamentos.
2. **M2 - Média de reconfigurações de agrupamentos:** É a taxa média de agrupamentos que são formados a cada segundo sobre as pistas. Esta métrica, juntamente com o tempo médio de duração dos agrupamentos, permite que se faça uma análise da estabilidade dos agrupamentos e do comportamento topológico da rede. Reduzir o número de mudanças na topologia da rede é importante para tornar o ambiente de comunicação entre os nodos mais estável e para reduzir a carga de comunicação. Além disso, o aumento do número de reconfigurações tem impacto direto sobre a comunicação na rede. Isto se deve ao fato de que durante o processo de reconfiguração dos agrupamentos, os nodos envolvidos tornam-se indisponíveis para muitas as aplicações, pois não pertencem a nenhum grupo de comunicação até o final do processo de formação.
3. **M3 - Número médio de refiliações:** Esta métrica mede o número médio de refiliações que ocorrem a cada segundo e serve como meio para medir a estabilidade dos agrupamentos. Um baixo número de refiliações, no qual nodos membros permaneçam por um longo período de tempo agregados, significa que os mecanismos empregados no algoritmo são efetivos e robustos.
4. **M4 - Número médio de agrupamentos:** Esta métrica descreve o número médio de agrupamentos sobre as vias em um determinado momento. Tipicamente, os algoritmos buscam evitar que dois líderes disputem a mesma região, com o intuito de melhorar o uso do canal, reduzir o número de colisões e atrasos na comunicação. Além disso, como os dados são coletados pelos líderes e encaminhados por eles para as unidades de beira de pista, o aumento do número de agrupamentos gera também o aumento de pacotes na rede e da disputa pelo meio físico, o que pode elevar o atraso de entrega destes pacotes.
5. **M5 - Número médio de Transferência de liderança:** Esta métrica é



útil desde que levada em conta junto com a duração do agrupamento e o número de agrupamentos formados. Poucas mudanças no líder de um agrupamento resultam em um agrupamento mais estável. Para alcançar este objetivo, os nodos membros devem selecionar um nodo que heurísticamente permaneça mais tempo com líder do agrupamento. A estabilidade na manutenção do líder de um agrupamento é importante para sistemas que alocam recursos de acordo com o MAC dos equipamentos. Nestas aplicações, o nodo líder é responsável pelo controle e escalonamento central de recursos em um agrupamento. Por isso, alterações frequentes de liderança degradam o desempenho desses sistemas baseadas em MAC.

As métricas M1, M2, M3, M4 e M5 avaliam a robustez dos mecanismos de formação e manutenção de agrupamentos de um sistema de gerenciamento de agrupamentos sob diferentes condições de tráfego, como fluxos de veículos e alterações taxa de dispersão dos veículos junto a intersecções.

Neste trabalho, a eficiência do sistema SIGA não é objeto de estudo já que a inclusão dos mecanismos preditivos não é atuante em relação a precisão dos dados e tratamento de perdas de mensagens no sistema SIGA.

Além disso, vale ressaltar que as comparações e as avaliações dos mecanismos preditivos, baseadas nas métricas descritas acima, restringem-se apenas em relação ao sistema SIGA. As devidas comparações de robustez e eficiência com relação a outras arquiteturas de agrupamento foram discutidas e avaliadas em (CAMBRUZZI, 2013).

## 6.2 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

### 6.2.1 Simulador de rede

O OMNeT++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) é um simulador de rede modular e orientado a eventos discretos. A arquitetura baseada em componentes permite adicionar módulos que expandem suas características e capacidades das simulações (VARGA, 2012, 2001).

Os módulos do OMNeT++ são baseados em C++, os quais são distribuídos e conectados usando uma linguagem de descrição de topologia, chamada NED (*NETwork Description*). As simulações executam via uma interface gráfica interativa ou linha de comando, proporcionando um método para simulações complexas ou em grande escala, respectivamente. As principais características do OMNeT++, são: i) módulos aninhados e conectados hierarquicamente; ii) linguagem de descrição de topologia; iii) módulos

comunicam-se através de canais virtuais de mensagens; e iV) flexibilidade na configuração dos parâmetros dos módulos.

Módulos adicionais implementam funcionalidades de redes com fio e sem fio, tais como: MiXiM(KÖPKE et al., 2008), Castalia(COMMUNITY, 2012) e o INET(VARGA, 2012). O INET *framework* é um pacote de simulação que fornece um conjunto de módulos que representam diversas camadas do protocolo de rede. Além de fornecer módulos que permitem a modelagem da mobilidade de nodos e comunicação IEEE 802.11.

A escolha pelo OMNeT++/INET foi determinada pela ampla utilização no meio acadêmico, a integração com simuladores de tráfego e as ferramentas para o tratamento dos dados da simulação.

### 6.2.2 Simulador de tráfego

O SUMO(*Simulation of Urban MObility*), é um simulador de tráfego projetado para redes rodoviárias de grande porte e baseado no modelo de movimento microscópico desenvolvido por Stefan Kraub(KRAJZEWICZ et al., 2003). Dentre suas principais características destacam-se: i) o movimento dos veículos livre de colisão; ii) os diferentes tipos de veículos(velocidade, tamanho, aceleração etc); iii) o suporte a movimentação de veículos em rodovias com múltiplas faixas; e iV) a junção de estradas (cruzamentos) baseados na regra do direito de passagem.

As simulações são realizadas em tempo discreto e o simulador permite especificar fluxo estático ou dinâmico(aleatórios), dos veículos desde a origem até o destino. A integração com programas externos é realizada via a interface TraCI (*Traffic Control Interface*), a qual permite que o SUMO exporte em tempo real os dados da simulação.

O SUMO é amplamente utilizado em pesquisas acadêmicas na área de VANETs(SHEA, 2009; LI, 2011; CHEN, 2010), e a decisão de utilizá-lo deve-se a farta documentação disponível, simplicidade na implementação e a integração com simuladores de rede.

### 6.2.3 Características dos veículos e fluxos de Tráfego

Os fluxos de veículos entrante nos experimentos são definidos através de arquivos de configuração do SUMO, que determinam características, como: o tipo de veículo (automóvel, ônibus, caminhão ou motocicleta), pista de inserção, o período de entrada dos veículos, velocidades máximas, aceleração e desaceleração, e trajetória sobre a pista.

Durante sua trajetória na pista, os veículos podem executar ultrapassagens, acelerar e desacelerar, respeitando os limites estabelecidos em cada simulação. As características dos veículos e os parâmetros adotados para a configuração das simulações no SUMO são descritos na tabela 5.

Tabela 5 – Características dos veículos

Veículos	Aceleração	Desaceleração	Vel. Máxima	% de Entrada	Comprimento
Automóveis	$3m/s^2$	$6m/s^2$	$22m/s$	85	$5m$
Ônibus	$1m/s^2$	$4m/s^2$	$20m/s$	5	$15m$
Caminhões	$1m/s^2$	$4m/s^2$	$20m/s$	10	$15m$

A partir dos parâmetros descritos na Tabela 5 construíram-se diferentes fluxos de veículos, de acordo com o cenário de tráfego avaliado.

No cenário de tráfego com sistema semafórico, o fluxo de veículos sobre as pistas foi dividido em cinco faixas: 500, 1000, 1500, 2000 e 2500 veículos/hora. Enquanto que para o cenário de tráfego com intersecção, o fluxo de veículo foi particionado em quatro faixas: 500, 1000, 1500 e 2000 veículos/hora. Estes fluxos veiculares simulam tráfegos que vão desde o mais esparsos até o limite do congestionamento das vias urbanas com sistema semafórico e intersecções.

#### 6.2.4 Parâmetros da Simulação de Rede

Os valores dos parâmetros no simulador OMNeT++/INET, empregados neste trabalho, objetivam simular o comportamento da comunicação dos nodos em um ambiente que utiliza o protocolo IEEE 802.11g. A Tabela 6, lista este parâmetros de configuração para atender tais requisitos.

Em SIGA, os tratamentos de colisões de mensagens implementado no OMNeT++/INET, como terminal exposto e escondido e desvanecimento de sinal, são omitidos. A justificativa desta decisão baseou-se numa avaliação mais precisa do comportamento dos mecanismos deste sistema, a partir da implementação de um modelo de comunicação ideal entre os veículos, sem atrasos, colisões ou perdas de mensagens.

Neste ambiente simulado, para cada veículo aloca-se um *timeslot*, que permite a difusão de mensagens sem colisões, consequentemente com a recepção sem perdas por seus vizinhos. A Figura 19, ilustra a regra de alocação de *slots* de difusão no tempo.

Na Figura 19, observa-se que cada nodo inserido no cenário dos experimentos recebe um *timeslot*, que permite a difusão de mensagens sem que

Tabela 6 – Parâmetros do Simulador de Rede

Parâmetro	Valor
Frequência	2.4GHz
Potência da antena	50mW
Saturação	-80dBm
Canais	1
Ruídos	-110dBm
Sensibilidade	-80mW
Protocolo	IEEE802.11
Potência de Transmissão	4mW
Taxa de Transmissão	12Mbps

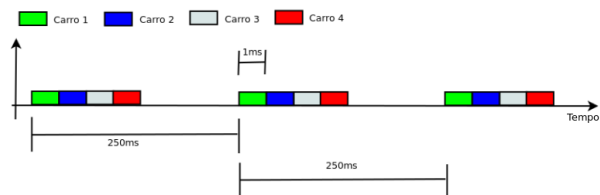


Figura 19 – Timeslot de difusão das mensagens dos nodos nos experimentos

haja colisões de pacotes com algum vizinhos próximo. Desta maneira, os experimentos realizados isentam perturbações provenientes de perda de pacotes.

### 6.2.5 Tratamentos dos dados

Para garantir um intervalo de confiança de 95% dos resultados apresentados nas subseções seguintes, foram realizadas simulações para cada métrica, com variações no fluxo de veículos e na taxa de dispersão na intersecção, totalizando 1800 simulações. Em cada simulação, a semente de geração de número aleatórios do simulador de tráfego é modificada, garantindo que em cada simulação, os nodos adquiram velocidades iniciais e pista de entrada diferentes.

Cada simulação tem duração de 500s, mas apenas os últimos 400s são contabilizados nos resultados. O descarte dos resultados nos primeiros 100s tem o objetivo de assegurar um tempo de *warm-up*, evitando disparidades nos valores adquiridos nos experimentos.

Posteriormente a obtenção dos resultados, foram realizados tratamentos estatísticos para que o erro padrão da média dos valores fosse inferior a 5% da média calculada, através da equação apresentada em (FREUND, 2000).

Além disso, os resultados médios obtidos nos experimentos são comparados percentualmente, tendo como denominador a média da proposta SIGA, conforme segue na equação:

$$diff_{perc} = \frac{(M_{prop} - M_{AC})}{M_{AC}} * 100 \quad (6.1)$$

na qual  $M_{prop}$ , é a média da proposta sob avaliação e  $M_{AC}$  é a média da proposta SIGA.

## 6.3 EXPERIMENTOS

Nesta seção apresentam-se as características dos experimentos, os resultados e as análises dos impactos da inserção dos mecanismos propostos neste trabalho em comparação ao comportamento do sistema SIGA original. As análises dos resultados baseiam-se nas métricas de desempenho descritas na Seção 6.1. Nas subseções a seguir, apresentam-se os resultados na forma de gráficos.

### 6.3.1 Experimentos para avaliação do mecanismo de predição para região semafórica

Os experimentos para avaliação do mecanismo de predição semafórica são apresentados a partir do desempenho diante de variações do fluxo, densidade e mobilidade dos veículos, aspectos comuns em vias urbanas.

De acordo com o descrito no Capítulo 4, o mecanismo de predição semafórica além de manter os mesmos parâmetros existentes no sistema SIGA, acrescentara novos parâmetros de configuração. A tabela 7 apresenta os parâmetros em comum e seus respectivos valores adotados nos experimentos desta dissertação.

Todavia, a implementação do mecanismo de predição semafórica utiliza parâmetros sobressalentes, listados na Tabela 8.

O cenário de tráfego para a realização dos experimentos para avaliação do mecanismo de predição semafórica é apresentado na Figura 20.

Nota-se na Figura 20, uma pista com comprimento de 3000m, dividida em quatro segmentos, dois segmentos de 1100m (segmentos 1 e 4) e outros dois com 400m (segmentos 2 e 3). Esta pista é dividida em três faixas de rola-

Tabela 7 – Parâmetros adotados nos experimentos

Parâmetro	Significado	Valor
$r_i$	Raio de transmissão dos nodos	150m
$T_s$	Período de Sinalização	250ms
$w_1$	Fator de ponderação da centralidade $C_i$	0.7
$w_2$	Fator de ponderação da centralidade $V_i$	0.3
$W_{th}$	Limiar para transferência de liderança	15%
$c_1$	Fator de ponderação da componente $S$	0.6
$c_2$	Fator de ponderação da componente $F$	0.1
$c_3$	Fator de ponderação da componente $E$	0.3
$G_{th}$	Limiar para executar uma refiliação	15%
$\alpha$	Tempo mínimo de espera	30ms
$\rho$	Fator de ponderação em $\Delta_{(i,j)}$	20ms
$T_t$	Limiar de mensagens perdidas	4
$\tau$	Número máximo de membros nos agrupamentos	30
$I_{df}$	Intervalo do Detector de Falha	250ms
$TS_s$	Período de Sinalização do semáforo	250ms

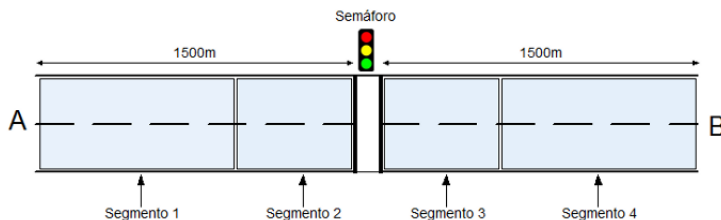


Figura 20 – Via arterial urbana com 3000m de comprimento

gem de veículos, na qual está instalado a 1500m do ponto A, um controlador semafórico. Os veículos são injetados no ponto A do segmento 1, utilizando o modelo de distribuição uniforme do SUMO. No ponto B do segmento 4 os veículos são removidos da pista e deixam a rede de comunicação.

Para análise do comportamento dos algoritmos, os eventos que ocorrem nos segmentos 1 e 4 não são contabilizados nos resultados. Nestes segmentos há, por exemplo, um grande número de formação de agrupamentos, refiliações e reconfigurações, causados pela constante entrada e saída dos veículos da pista.

Contabilizar os eventos ocorridos no segmento 1 e segmento 4 da pista poderia levar a distorção dos resultados finais, mascarando problemas ou de-

Tabela 8 – Parâmetros adicionais do mecanismo de Predição Semafórica

Parâmetro	Significado	Valor
$C_l$	Componente base do limiar de $W_{Th}$	10%
$C_m$	Componente de multiplicação do limiar de $W_{Th}$	150
$C_l$	Componente de Linearização do limiar de $W_{Th}$	50
$u_1$	Constante $U_1$	0.2
$u_2$	Constante $U_2$	0.8
$U_{th}$	Limiar do peso $U$	20%
$V_{th}$	Limiar da velocidade	5m/s
$D_{th}$	Limiar da distância de ultrapassagem	10m
$Des_s$	Desaceleração segura	10m/s <sup>2</sup>

gradando estes resultados. Diante disso, para fins de análise do comportamento dos algoritmos implementados, apenas os fenômenos que ocorrem nos segmentos 2 e 3 são contabilizados e mostrados nos resultados finais.

Por fim, os tempos de cada uma das fases do ciclo semafórico atuante nos experimentos, que possui 75s, são representados na tabela 9.

Tabela 9 – Tempos dos ciclos semafóricos

Sinal	Tempo
Verde	45s
Vermelho	30s

A seguir são apresentados e discutidos os resultados dos experimentos, para cada métrica, obtidos no cenário de tráfego semafórico.

### Duração dos Agrupamentos

Nas vias urbanas, mudanças no comportamento do tráfego estão relacionadas ao horário do dia, existência de cruzamentos ou pontos de entrada e saída de veículos ao longo da via. No entanto, é a atuação dos dispositivos de controle de tráfego, como os semáforos, um dos principais motivos de alteração do comportamento do tráfego.

A Figura 21 apresenta os resultados dos experimentos do ponto de vista da duração dos agrupamentos. Com a análise dos resultados desta figura se pretende demonstrar a manutenção da robustez do sistema SIGA, quando é incluído o mecanismo predição semafórica, em função da mudança da densidade de tráfego sobre as vias.

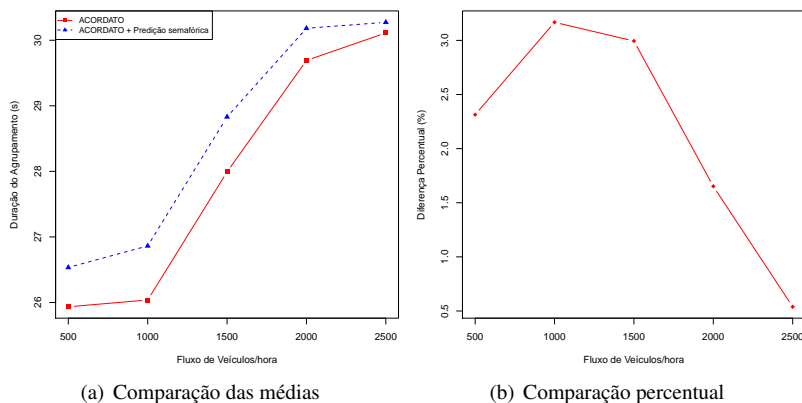


Figura 21 – Duração dos agrupamentos diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.

Observa-se na Figura 21, que o tempo de duração dos agrupamentos permanece maior para todos os fluxos de tráfegos experimentados, com a inclusão do mecanismo de predição semafórica no sistema SIGA.

Este aumento provém da atuação do mecanismo de predição semafórica, o qual permite que nodos antecipem a formação de agrupamentos na região semafórica, assim que estes detectem que haverá um particionamento no atual agrupamento. Os nodos membros que decidem desagregar antecipadamente dos agrupamentos, avaliam primeiramente se existe outro nodo líder ao qual possam se filiar e que tenha o mesmo comportamento com relação a transição do sinal do semáforo. Ou seja, caso o nodo constate que não ultrapassará o semáforo a tempo, então este buscará líderes que também não ultrapassem, caso contrário o nodo procura por líderes que ultrapassem o semáforo.

Na ausência de um líder que tenham o mesmo comportamento na região semafórica, do qual poderia realizar uma refiliação, os nodos desagregados iniciam um processo de formação de agrupamento. Este mesmo processo de formação também ocorreria no caso da proposta SIGA, entretanto estes nodos postergariam este processo, pois enquanto possuísem contato direto com seu líder estes permaneceriam agregados a ele.

O mecanismo de predição semafórica, no entanto, adianta esta formação, a qual ocorre antes mesmo dos nodos alcançarem o semáforo, com o intuito de estabilizar tanto a formação do novo agrupamento, como a manutenção do agrupamento que será particionado. A antecipação do processo de formação de agrupamentos, permite a existência de agrupamentos por um período de



tempo ligeiramente mais longo, acarretando na contabilização maior do tempo de duração observados nos experimentos. Assim, o tempo sobressalente observado na Figura 21(a), é o resultado direto da antecipação na formação de novos agrupamentos na região semafórica.

Contudo, o aumento percentual proporcionado pelo mecanismo é relativamente baixo, com valores não superiores a 3% no melhor caso em 1000vph, e sendo inferior a 0,5% quando experimenta-se um aumento do fluxo de veículos nas vias, conforme nota-se na Figura 21(b). O fluxo maior de veículos nas vias, reduz a ocorrência de reconfigurações causadas pela transição do sinal do semáforo de *verde* para *vermelho*. Esta redução é ocasionada pelo fato de haver um número maior de agrupamentos na região semafórica, aumentando as chances de um nodo desagregado realizar uma refiliação, ao invés de efetivar uma reconfiguração, diminuindo as chances destes se tornar indeciso.

Por isso, nos fluxos de veículos densos, 2000vph e 2500vph, os nodos que realizam a desagregação antecipada, tem maiores oportunidades de realizar uma refiliação do que uma reconfiguração, quando há a transição do sinal do semáforo de *verde* para *vermelho*, diminuindo o número de antecipações para a formação de agrupamentos e conseqüentemente a duração dos agrupamentos.

## Número de Agrupamentos

Na Figura 22 apresenta-se os resultados comparativos entre SIGA e SIGA com o mecanismo de predição semafórica para a métrica *Número de Agrupamentos*.

Observa-se nas Figuras 22(a) e 22(b), que a inserção do mecanismo de predição semafórica no sistema SIGA, contribui para o aumento no número médio de agrupamentos na região semafórica.

A adição do mecanismo de predição proporciona a antecipação na formação dos agrupamentos, quando nodos desagregam e não encontram um líder próximo para realizarem uma refiliação. Esta antecipação na formação do agrupamento, proporciona a presença simultânea, durante um curto período de tempo, de um número maior de agrupamentos numa região semafórica. Os agrupamentos previamente formados coexistem com os agrupamentos presentes nas vias, e estes são contabilizados nos resultados finais dos experimentos.

A princípio a existência de um número maior de agrupamentos na região semafórica poderia diminuir o desempenho do sistema SIGA. Entretanto, a antecipação na formação proporciona aos protocolos de roteamento, que encaminhem as mensagens dos nodos desagregados de maneira mais eficaz, diminuindo a quantidade de saltos de comunicação e melhorando o de-

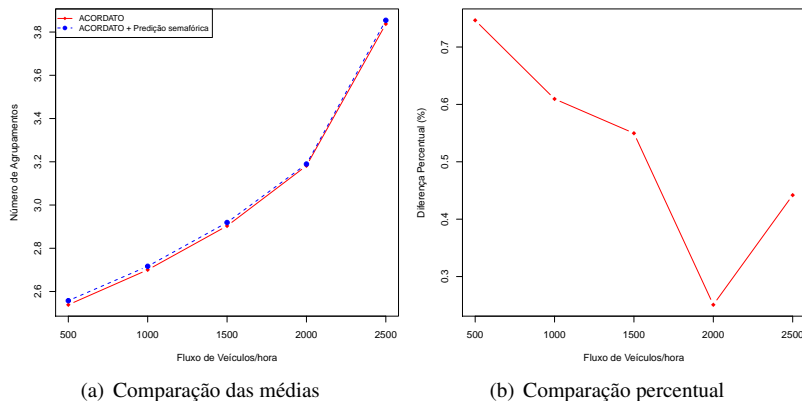


Figura 22 – Número de agrupamentos diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.

sempenho na entrega das mensagens destes. Além disso, as informações dos nodos desagregados antecipadamente são também antecipadamente encaminhadas para o próximo ponto de coleta da rodovia, melhorando a visão do controle de tráfego com relação ao posicionamento dos veículos na rodovia.

Assim, com relação a métrica *número médio de agrupamentos*, a inclusão do mecanismo de predição semafórica elevam o número de agrupamentos, que por si só diminuiria o desempenho do sistema originalmente proposta em SIGA. Porém, o número de agrupamentos adicionados a média total é significativamente pequeno, permanecendo abaixo de 1%, para todos os fluxos de veículos dos experimentos e observável na Figura 22(b), não tornando-se um fator de considerável degradação do desempenho.

A diminuição na diferença percentual entre as propostas, observada na Figura 22(b), é consequência da diminuição no número de reconfigurações antecipadas, causadas pela transição do sinal do semáforo (*verde* para *vermelho*). Assim, no advento do aumento do fluxo de veículos, as desagregações continuam a ocorrer, mas ao invés de optar por formar um novo agrupamento, os nodos desagregados tendem a escolher uma refiliação pois há a presença de um número maior de líderes na região semafórica.

Todavia, mesmo apresentando um desempenho levemente inferior a proposta original de SIGA, a introdução do mecanismo de predição semafórica proporciona uma maior estabilidade tanto na manutenção quanto na formação de agrupamentos próximos a regiões semafórica, conforme pode ser constatado e analisado nas métrica a seguir.

## Transferências de liderança

A transição do estado do sinal semafórico de *verde* para *vermelho*, tende a deformar a formação do agrupamento, por exemplo, todos os membros podem se posicionar à frente ou atrás do líder e se dispersarem até o limite do raio de comunicação, ou se aproximarem uns dos outros. Essas deformações do agrupamento reduzem a eficiência da distribuição do sinal e colaboram para o aumento de quebras de enlace, refiliações e transferências de liderança.

Os resultados obtidos através de experimentos, para a métrica de transferência de liderança, são demonstrados na Figura 23.

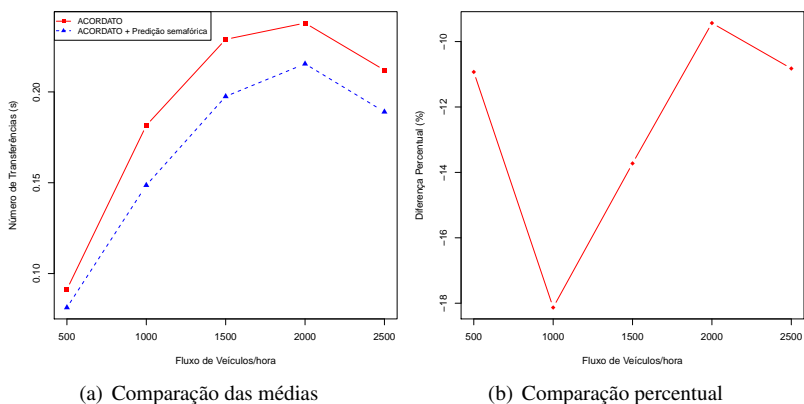


Figura 23 – Número de transferências de liderança diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.

Observa-se nas Figuras 23(a) e 23(b), que a adição do mecanismo de predição semafórica reduz, em todos fluxos simulados, o número de transferência de liderança.

Esta redução é obtida pela atuação simultânea da predição e a componente de compensação de limiar  $W_{Th}$  inseridos no sistema SIGA para regiões semafóricas. O primeiro deles, a predição que permite a desagregação antecipada, apresentada na Seção 4.2, permite que os agrupamentos não precisem se deformar para então formar um novo agrupamento ou realizarem uma refiliação. A antecipação destas ações, ocorre normalmente nos instantes em que os nodos ainda não reduziram suas velocidades por causa da transição do semáforo. Desta maneira, os nodos podem realizar refiliações menos impactantes nos agrupamentos, com mudanças menos bruscas com relação a mudança de centralidade do agrupamento que se desagregam.

Entretanto, é a componente de compensação de limiar  $W_{Th}$ , que mais contribui para a redução do número de transferências na região semafórica. Conforme apresentado na Seção 4.2.5, este mecanismo atua sobre os agrupamentos que se localizam antes do semáforo, a partir do instante em que o líder do agrupamento detecta o sinal *vermelho* e prevê que o agrupamento se aglutinará.

O comportamento natural dos agrupamentos nestas situações é compactar-se, por causa da redução de velocidade dos nodos e a aproximação entre eles, proporcionando grandes alternâncias na centralidade. Contudo, o mecanismo objetiva assegurar que um nodo líder sob a influência de redução de velocidade e compactação do agrupamento somente irá transferir sua liderança em ocasiões de extrema necessidade.

Agrupamentos densos e com pequenas dimensões, têm um fator  $W_{Th}$  muito alto, o que dificulta a transferência de liderança, conforme previsto na equação 4.6. Isto justifica-se porque, com a compactação do agrupamento, os nodos tendem a ficar muito próximos um dos outros e a transferências de liderança, que em parte almeja deixar a liderança com o nodo mais central para melhor distribuir o sinal de comunicação, nesta ocasião não se torna tão necessário esta distribuição de sinal quanto esta é nas ocasiões de movimentação dos veículos em rodovias.

Portanto, durante a fase de aproximação dos nodos na região semafórica, a compensação de limiar  $W_{Th}$  assegura uma maior estabilidade na liderança do agrupamento, permitindo que os veículos se assentem e parem na região semafórica sem a necessidade de refiliar-se ou transferir durante este período, proporcionando uma maior estabilidade da rede.

Outro ponto importante e positivo do desempenho da atuação do mecanismo, é observado com a variação do fluxo de veículos, a qual não altera a performance apresentada por este, o qual continua reduzindo as transferências de lideranças decorrentes da compactação e dispersão dos nodos na transição do sinal semafórico. Aliás, observa-se na Figura 23(b) que a redução atingida pelo mecanismo de predição semafórica é significativa, variando entre 10% a 18% no número de transferências de liderança.

Um número menor de transferências de liderança é almejado e contribui principalmente para os protocolos de alocação de canal de comunicação via MAC, baseados em agrupamentos. A redução nesta métrica colabora na diminuição da necessidade de haver trocas de contexto e tabelas de alocação, propiciando estabilidade deste tipo de estratégia. Nas várias propostas de alocação de canal em redes VANETs, são os nodos líderes responsáveis por alocar e liberar canais de comunicação dentro de um agrupamento.

## Reconfigurações

Durante o processo de reconfiguração, os veículos envolvidos deixam de disponibilizar serviços e dados ao sistema, já que não podem realizar o correto roteamento de suas informações ou serem devidamente identificados por sua vizinhança.

Por isso, a estabilidade de uma estratégia de agrupamento pode ser avaliada a partir do número de reconfigurações que ocorrem numa determinada arquitetura. Os resultados comparativos para esta métrica, entre SIGA e SIGA com o mecanismo de predição semafórica, são apresentados na Figura 24.

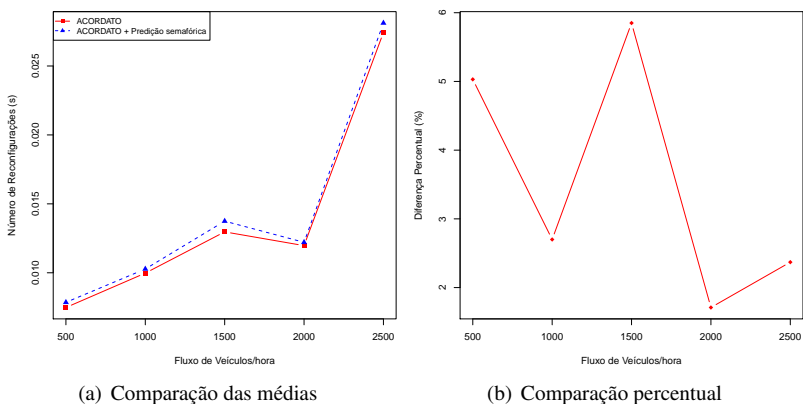


Figura 24 – Número de reconfigurações diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.

Nota-se na Figura 24, que a introdução do mecanismo de predição semafórica proporciona um aumento no número de reconfigurações.

A atuação do controlador semafórico provoca particionamentos nos agrupamentos, na qual uma parcela dos nodos para no semáforo, e outros nodo ultrapassam-o, incluindo o líder do agrupamento. No sistema SIGA, os nodos que param no semáforo, mantém-se filiados ao líder que ultrapassou o semáforo, enquanto os limites do raio de comunicação não forem alcançados. A partir do momento que estes nodos perdem contato com o líder, por causa da quebra do enlace, eles buscam outro líder para se filiarem, que neste caso tende-se a ser um líder que localiza-se antes do semáforo.

Entretanto, quando SIGA é adicionado do mecanismo de predição semafórica, nesta mesma ocasião de particionamento, os nodos não aguardam pela quebra do enlace para então buscarem novas refiliações, e logo que pre-

vem a quebra do enlace, estes antecipam a desagregação a vários metros antes de chegarem no semáforo. Porém, a probabilidade destes nodos neste instante encontrarem outro líder próximo é menor, pois ainda não houve uma grande aglomeração na região semaforica suficiente para a chegada de outros líderes que estavam trafegando atrás e que ainda se aproximam do semáforo.

Constata-se assim, que a antecipação empregada pelo mecanismo de predição semaforica propicia a maior frequência de reconfigurações, causadas por nodos que param no semáforo e não encontram líderes próximos a este para realizar uma refiliação, e por isso, optam por uma reconfiguração.

No entanto, a ocorrência deste tipo de comportamento tende a diminuir com o aumento do fluxo de veículos, conforme comprovado nos resultados da Figura 24(b), com diferenças percentual em torno de 2% para os fluxos acima de 2000vph. Isto ocorre, pelo fato que ao desagregarem prematuramente do agrupamento a qual pertenciam, os nodos possuem maiores oportunidades de encontrarem um nodo líder próximo, já que a quantidade de veículos e agrupamentos trafegando na pista é maior.

Contudo, este tipo de comportamento é mais evidente no fluxo de tráfego esparso. No aumento no fluxo de veículos, as reconfigurações ocasionadas pela antecipação da desagregação dos nodos diminuem significativamente, proporcionando valores similares de reconfigurações com relação ao sistema SIGA. Os nodos ao decidirem pela desagregação antecipada, no casos dos fluxo de veículos densos, têm a oportunidade de conseguirem uma refiliação pelo fato de haver líderes próximos da região semaforica.

## Refiliações

Os resultados dos experimentos para a métrica *Refiliações* são apresentados na Figura 25.

Em cenários com fluxo de veículos controlado por sistemas semaforicos, as ações do semáforo contribuem para mudanças nos valores na centralidade e velocidade relativa, que variam o grau de conectividade  $G_c$  calculado pelo nodo com relação aos líderes da vizinhança. Esta variação é causada pelas aproximações e dispersões dos veículos que trafegam na pista. O grau de conectividade  $G_c$  utilizado por nodos *membro-gateway* para determinar qual líder em sua vizinhança é mais apto a este se filiar. A variação deste índice ocasionada pela ação do semáforo, colabora para o aumento do número de refiliações apresentado por SIGA, como indicam os resultados na 25(a).

Todavia, quando emprega-se o mecanismo de predição semaforica no sistema SIGA, o número de refiliações é reduzido, contribuindo para uma maior estabilidade do agrupamento nas regiões semaforicas.

A redução do número de refiliações alcançada pelo mecanismo de

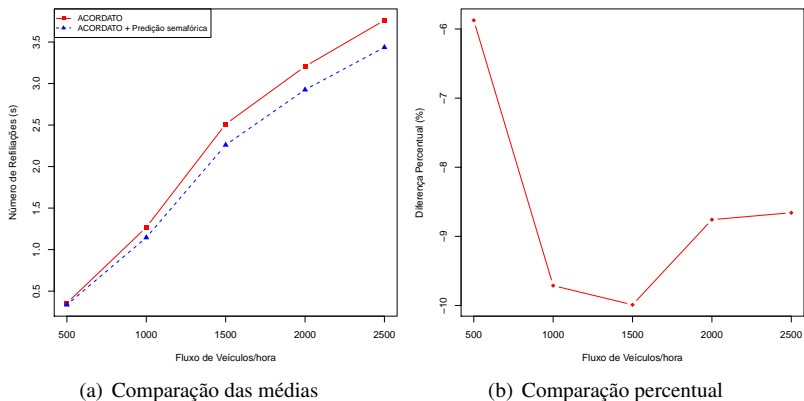


Figura 25 – Número de refiliações diante da variação do fluxo de veículos sobre as vias.

predição, demonstrada na Figura 25(a), é o resultado da atuação, principalmente, da componente de compensação de limiar  $W_{Th}$ , o qual assegura que uma transferência de liderança mais robusta, nos casos de deformação do agrupamento por compactação, causados pela transição do sinal do semáforo de *verde* para *vermelho*. A aglomeração de veículos antes do semáforo, com reduções de velocidade e aumento da densidade, são os principais fatores para a ocorrência de refiliações. A componente de compensação de limiar  $W_{Th}$ , atua justamente neste tipo de comportamento, propiciando que as transferências, consideradas desnecessárias nesta região não ocorram e consequentemente diminuindo o número de refiliações.

Ou seja, a redução na transferência de liderança, tem como consequência direta a redução do número de refiliações do agrupamento, já que há menos mudanças de líder durante o tempo em que os veículos do agrupamento desaceleram na região semafórica.

Contudo, nota-se na Figura 25(b), que a taxa de redução empregada pelo mecanismo de predição mantenha-se estável mesmo com a variação do fluxo de veículos na região semafórica. A síntese dos resultados observados e analisados nos experimentos para a inserção do mecanismo de predição semafórica, são apresentados a seguir.

### **Análise dos resultados com mecanismo de predição semafórica**

Os resultados experimentais do mecanismo de predição semafórica apresentaram desempenhos melhores, com redução dos índices de refiliação

e transferências de liderança em cenários com controladores semafóricos nas vias. Conforme apresentado na Seção 4.2, o mecanismo de predição semafórica, é composto de um algoritmo heurístico que prevê o particionamento e um algoritmo de compensação de limiar  $W_{Th}$  que almeja reduzir as transferências de liderança consideradas desnecessárias. Entretanto, a parcela de contribuição para a redução destas métricas é proporcionalmente maior pela ação do algoritmo de compensação de limiar  $W_{Th}$ . Esta proporção se explica, pela abrangência que este algoritmo consegue alcançar em relação a simples predição do particionamento. O algoritmo de compensação de limiar atua sobre todos os agrupamentos que se aglomeram na região semafórica, enquanto que a predição atua normalmente apenas em um agrupamento, do qual prevê-se que sofrerá particionamento. Proporcionalmente, o número de agrupamentos aglomerados junto ao semáforo e que não ultrapassaram, é relativamente maior com relação aqueles que sofrem particionamento antecipado.

Por isso, a atuação do algoritmo de compensação é mais visada e proporciona as maiores taxas de redução do mecanismo de predição semafórica. Além disso, a taxa de redução proporcionada pelo conjunto de algoritmos do mecanismo de predição, melhorou consideravelmente os índices de refiliações e transferências de liderança. O mecanismo combateu os fatores que proporcionam o aumento do número de refiliações e transferência de liderança, que são: i) o particionamento por quebra de enlace; e ii) o aumento na densidade dos nodos junto ao semáforo. Os algoritmos do mecanismo, simultaneamente, reduziram estes efeitos, prevendo o particionamento e realizando-os antes mesmo da chegada dos nodos aos semáforos, e evitando as transferências de liderança nos instantes em que os veículos se aglomeram, reduzem velocidade, diferenciando em muito suas velocidades relativas e mudanças de centralidade do agrupamento.

Entretanto, outras duas métricas, reconfiguração e número de agrupamentos apresentaram índices piores com relação a proposta original em SIGA. A elevação destes índices é consequência da antecipação no particionamento dos agrupamentos. O emprego do mecanismo de predição semafórica, favorece a formação antecipada de agrupamentos em relação a proposta original de SIGA, o que eleva durante um breve momento de tempo, o número de agrupamentos na região semafórica, já que os nodos dos agrupamentos que preveem o particionamento têm a iniciativa de reconfigurarem antecipadamente. Além disso, a mesma antecipação proporciona em determinadas ocasiões que nodos que decidem particionar optem por reconfigurar, pois não encontram líderes próximos para refiliar-se. No entanto, as elevações observadas no número de reconfigurações e número de agrupamentos, percentualmente, são consideradas ínfimas, não prejudicando o correto funcio-



namento da manutenção do agrupamento.

Um aspecto relevante nas análises dos resultados para o mecanismo de predição semafórica é a forma de captura dos dados na região semafórica. No cenário com o controlador semafórico, optou-se por capturar os dados numa região limitada da pista que a princípio abrangem-se as influências da ação do semáforo sobre os agrupamentos, provocando aglomerações e dispersões de veículos. Contudo, a aquisição destes dados na maior parte do tempo do experimento não corresponde as atuações provocados pelas alternâncias no estado do semáforo.

A transição dos estados do semáforo, causadores de aglomerações e dispersão dos veículos, são eventos de curta duração, comparativamente, aos tempos sem mudança de estado do semáforo. O mecanismo preditivo semafórico, proposto nesta dissertação, normalmente atua instantes antes e depois da transição destes estados. No instante de tempo em que o semáforo alterna de estado de *verde* para *vermelho*, durante um breve momento alguns veículos dispersão enquanto que outros se aglomeram junto ao semáforo. Contudo, no restante do experimento, o mecanismo de predição não atua, pois o sinal permanece no estado *vermelho* ou *verde* por um longo período de tempo, proporcionalmente.

Desta maneira, uma grande parcela dos dados adquiridos no experimento, corresponde a execução da proposta original de SIGA, ao invés da atuação do mecanismo de predição semafórica. Em parte, as melhoras nas métricas de avaliação proporcionadas pelo mecanismo preditivo, são relativamente baixas, caso os tempos de transição dos semáforos sejam consideravelmente elevados, proporcionando poucos particionamentos e consequentemente, baixos índices de execução do mecanismo.

Contudo, experimentos específicos nos quais utilizam-se poucos agrupamentos, em que há particionamentos pontuais sobre os agrupamentos, demonstraram que a proposta de predição semafórica é eficiente, reduzindo o número de refiliações, transferências de liderança e aumentando o tempo de duração dos agrupamentos, com altas taxas de reduções.

Por fim, um aspecto relevante para os resultados dos experimentos é a regulação dos parâmetros preditivos, como por exemplo, o detector de ultrapassagem  $U_i$  descrito em 4.2.4. Em cenários de tráfegos reais, quando um veículo se aproxima de uma região semafórica, inúmeros fatores contribuem para uma falsa detecção de ultrapassagem, como veículos lentos a frente, acidentes e desvios na pista. Entretanto, estes fatores não são devidamente considerados nos experimentos dos simuladores e a análise da robustez e atuação desta estratégia se torna pouco relevante nos resultados finais dos experimentos. Contudo, evitar as falsas detecções contribui para a estabilidade do agrupamento, pois evita-se que haja refiliações e reconfigurações desnecessárias,

causadas por erros preditivos desta estratégia.

### 6.3.2 Experimentos para avaliação dos mecanismos de predição para regiões Interseccionais

A robustez dos mecanismos de predição interseccional via seta e predição interseccional via rota são apresentados a partir do desempenho diante da variação do fluxo e taxa de dispersão na intersecção.

Para a realização plena dos experimentos com os mecanismos de predição interseccionais, estes necessitam da configuração de parâmetros adicionais, os quais são apresentados nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Parâmetros adicionais do mecanismo de Predição via Rota

Parâmetro	Significado	Valor
Região antecessora	Distância da intersecção para iniciar a atuação do mecanismo	50m

Tabela 11 – Parâmetros adicionais do mecanismo de Predição via seta

Parâmetro	Significado	Valor
$T_w$	Período de espera para iniciar desagregação	4s
$SD_{TH}$	Limiar do senso de direção	45°

Enquanto isso, o cenário dos experimentos para avaliação dos mecanismos de predição interseccionais é ilustrado na Figura 26.

Na Figura 26, duas pistas perpendiculares (via 1 e 2) formam uma intersecção. A pista da Via 1 possui comprimento de 2000m e divide-se em quatro segmentos de 500m, e a pista da Via 2 possui 1000m e divide-se em 2 segmentos de 500m. A intersecção formada pelas vias 1 e 2, encontra-se a 1000m do ponto A. Ambas as vias possuem duas faixas de rolagem de veículos. Entretanto, na via 1 todas as faixas de rolagem possuem o mesmo sentido do tráfego, enquanto que na via 2 existem faixas em sentidos opostos, permitindo a saída e entrada de veículos da via 1.

As pistas da via 1 são divididas em quatro segmentos de 500m (segmentos 1 a 4), enquanto que as pistas da via 2 em outros dois com 500m (segmentos 5 e 6). Os veículos da simulação são inseridos no ponto A do segmento 1, enquanto que nos pontos B e C dos segmentos 4 e 6, respectivamente, os veículos são removidos da pista e não participam mais da rede de

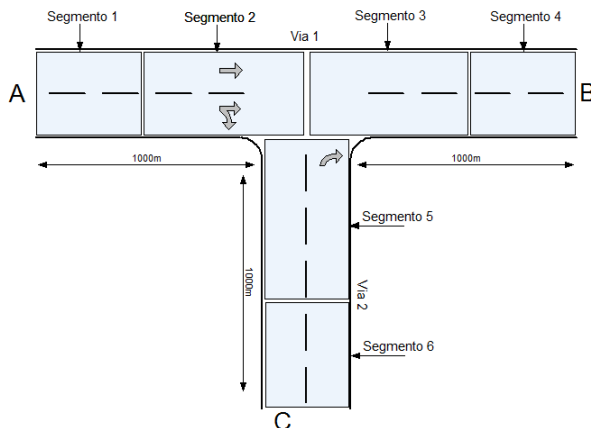


Figura 26 – Via interseccional urbana com 2000m de comprimento

comunicação.

Para fins de análise do comportamento apenas na região interseccional, os eventos ocorridos nos segmentos 1, 4 e 6 não são contabilizados nos resultados da simulação. Por isso, as análises comportamentais e os resultados apresentados na próxima seção restringem-se aos fenômenos ocorridos nos segmentos 2, 3 e 5 das vias 1 e 2.

Por fim, as análises de cada métrica de avaliação no cenário de intersecção foram divididas em dois casos distintos, que são:

- **Caso 1:** taxa de fluxo dos veículos fixa em 1000vph e variação de 10% a 90% na taxa de dispersão de veículos na intersecção, que corresponde a taxa de veículos que mudam de pista à direita da intersecção; e
- **Caso 2:** taxa de dispersão dos veículos à direita de 50%, e variação no fluxo de veículos de 500vph a 2000vph.

A seguir são apresentados e discutidos os resultados comparativos dos experimentos obtidos no cenário de tráfego interseccional, para cada um dos casos de intersecção.

### Duração do Agrupamento

Os resultados da métrica *Duração do Agrupamento* para o caso 1 do cenário interseccional são apresentados na Figura 27.

Observa-se na Figura 27(a), que os mecanismos de predição intersec-

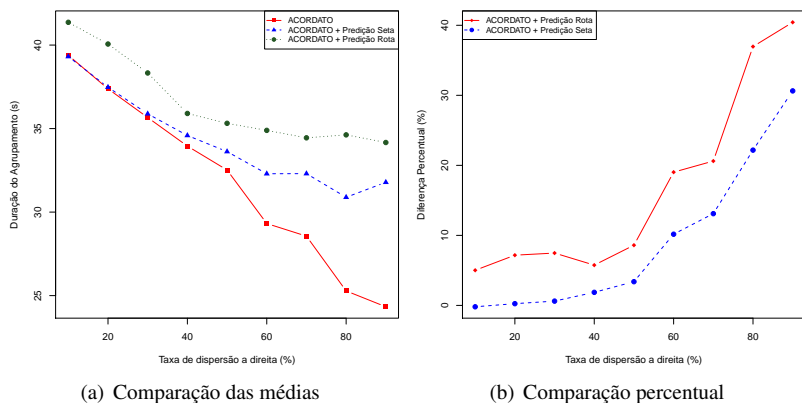


Figura 27 – Duração dos agrupamentos diante do caso 1

cional elevaram os tempo de duração dos agrupamentos. Nota-se também, uma queda no tempo de duração dos agrupamentos para a estratégia original de SIGA, assim que há aumento na dispersão dos nodos à direita na intersecção.

Em SIGA, toda vez que um nodo realiza a mudança de pista este desagrega-se imediatamente, provocando um particionamento do agrupamento em que este participa. O particionamento dos primeiros nodos que contornam a curva, leva a formação de novos agrupamentos ou refiliações, dependendo da configuração do tráfego. Nas situações em que os nodos não encontraram um líder, estes alternam para o estado *indeciso* e iniciam uma nova formação. Durante esta fase, os nodos não contabilizam o tempo de duração do agrupamento. Esta fatia de tempo não contabilizada tem impacto direto na média total dos tempos de duração dos agrupamentos dos experimentos. Por isso, no aumento da dispersão, mais nodos almejam contornar à direita, fomentando mais particionamentos e diminuindo ainda mais a média do tempo de duração em SIGA.

Enquanto isso, a introdução dos mecanismos interseccionais ameniza-se este tipo de problema, pois estes possibilitam aos agrupamentos manterem-se coesos durante a travessia pela intersecção. A manutenção do agrupamento coeso, permite que não haja particionamentos e reconfigurações desnecessárias, evitando que os nodos passem pelo estado *indeciso* e como consequência eleva-se os índices de duração dos agrupamentos.

Outro aspecto que contribui para o aumento na duração com os mecanismos é o particionamento antecipado dos nodos, favorecendo o surgimento de novos agrupamentos antes mesmo que estes nodos cheguem a intersecção,

ocasionando adiantamento, em alguns segundos, na formação e criação dos agrupamentos na região de intersecção. Com isso, a contabilização do tempo de duração do agrupamento eleva-se para as estratégias interseccionais, com relação a estratégia de SIGA, a qual realiza o particionamento e desagregação de nodos somente na mudança de pista dos nodos, e que ocorre normalmente após a travessia destes na intersecção.

Constata-se também na Figura 27(b), uma melhora percentual dos mecanismos de predição interseccional via seta e via rota, proporcionalmente com o aumento na taxa de dispersão. O número maior de nodos contornando à direita, propiciando que mais agrupamentos, em que todos os membros almejam contorna a direita, existam na intersecção. Este comportamento favorece a atuação dos mecanismos mantendo um número maior de agrupamentos coesos na intersecção.

Todavia, os resultados para o caso 2 do cenário interseccional certificam a melhora no desempenho em SIGA quando inclusos os mecanismos, conforme ilustrado na Figura 28.

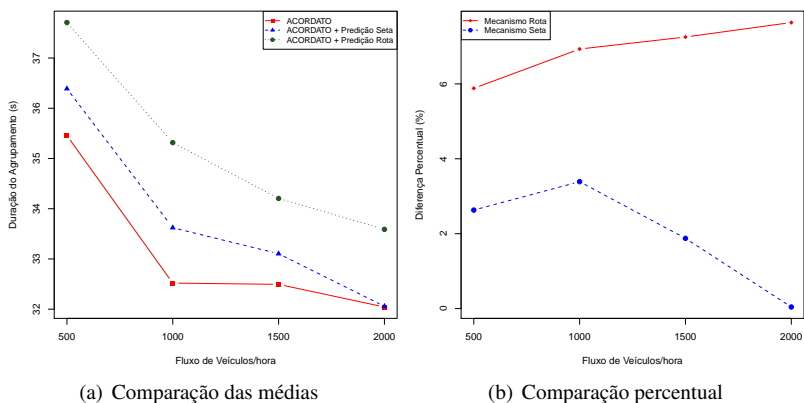


Figura 28 – Duração dos agrupamentos diante do caso 2

Nota-se na Figura 28(b), que a variação no fluxo de veículos na região de intersecção, não afetou o desempenho dos mecanismos de predição interseccional, os quais mantiveram a elevação nos tempos de duração dos agrupamentos.

Conforme descrito anteriormente, os principais fatores que contribuíram para o aumento no tempo de duração dos agrupamentos para os dois mecanismos, foram a antecipação no particionamento e a manutenção da coesão dos agrupamentos durante a travessia da intersecção. Cada estratégia realiza heurísticas distintas, que atuam em tempos diferentes, para determinar a

antecipação na formação e desagregação de nodos, o que justifica os desempenhos e as diferenças nos índices, observados nas Figuras 27(a) e 28(a).

Na estratégia via seta a eficiência no particionamento, tempo de antecipação do particionamento e a manutenção da coesão dos agrupamentos depende exclusivamente de dois fatores: i) componente  $T_w$ ; e ii) a distância do agrupamento com relação a intersecção, a partir do primeiro nodo a acionar a seta. Tempos demasiadamente curtos de  $T_w$ , não permitem que todos os nodos sinalizem a tempo, assim o particionamento pode ocorrer mais de uma vez sobre o mesmo agrupamento. No entanto, caso  $T_w$  seja longo, menor o tempo para a antecipação do particionamento, já que os nodos devem aguardar um período mais longo para realizar a desagregação ou formação de um novo agrupamento. Além disso, o início da contagem do tempo  $T_w$ , depende do primeiro acionamento da seta, dentre os nodos do agrupamento, ou seja, quanto mais próximo o primeiro nodo que aciona a seta está da intersecção, menor o tempo de antecipação do particionamento.

Enquanto isso, a antecipação do particionamento do mecanismo de predição que utiliza a rota depende principalmente do tamanho do segmento antecessor, já que este é o gatilho para o início da atuação do mecanismo. Além disso, uma vantagem do mecanismo interseccional via rota é que este tem a oportunidade de atuar sobre todos os nodos do agrupamento simultaneamente, o que eleva a eficiência desta estratégia, que diferente da estratégia via seta, ocorre normalmente de maneira parcial no agrupamento. Estes aspectos, determinaram a elevação maior nos tempos de duração dos agrupamentos para o mecanismo de predição via rota.

## Número de Agrupamentos

A Figura 29 mostra o comportamento de SIGA e os mecanismos interseccionais em relação a métrica *Número de agrupamentos*, para o caso 1 do cenário interseccional.

Observa-se na Figura 29, que as estratégias interseccionais via seta e via rota aumentam o número de agrupamentos na região de intersecção, em relação ao sistema SIGA original.

Este aumento é causado pela formação antecipada de agrupamentos na região de intersecção, realizada pelas propostas de seta e rota, que visam a estabilidade dos agrupamentos na travessia pela intersecção. A execução do particionamento antecipado, que conseqüentemente ocasiona a formação de um novo agrupamento, faz com que agrupamentos surjam e um número maior coexista na região de intersecção, como ilustrado nas Figuras 29(a) e 30(a).

Entretanto, nas taxas de 80% e 90% de dispersão, o mecanismo de

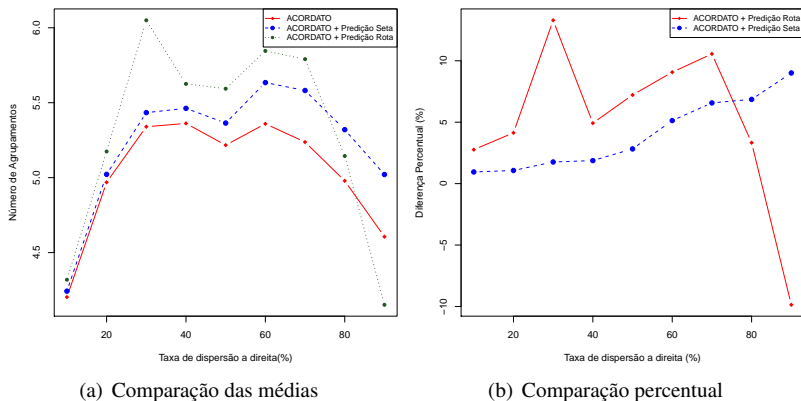


Figura 29 – Número de agrupamentos diante da variação do caso 1

predição via rota, atingiu bons índices no número de agrupamentos, observáveis nas Figuras 29(a) e 29(b). A redução deste índice é consequência da maior passagem de agrupamentos inteiros que contornam a curva à direita na intersecção. Quando o mecanismo interseccional via rota consegue identificar que todos os nós do agrupamento devem contornar a curva, o mecanismo assegura que nenhum particionamento ocorra neste agrupamento, e que estes se mantenham coesos em suas travessias pela intersecção. Diferentemente, no sistema SIGA, o mesmo agrupamento, particiona-se devido a mudança de pista e há a contabilização de um novo agrupamento causado pela manobra de contorno da curva. Assim, a coesão do agrupamento em sua travessia, proporcionada pelo mecanismo de predição interseccional via rota, contribui para a redução do número de agrupamentos, quando as taxas de mudança de pista é elevada e todos os nodos agrupamentos realizam a mesma trajetória na intersecção.

Porém, mesmo com o acréscimo no número de agrupamentos na intersecção, as propostas de seta e rota possuem consideravelmente bons desempenhos com relação a esta métrica de avaliação. O melhor desempenho apresentado pela proposta de seta com relação a proposta de rota nas Figuras 29 e 30, é devido ao tempo maior na antecipação do particionamento do agrupamento na proposta de rota, já descrita e comprovada anteriormente.

Contudo, o aumento no número de agrupamentos inserido pelos mecanismos de seta e rota relativamente manteve-se constante, para o caso 2 do cenário interseccional, apresentados na Figura 30.

Nota-se na Figura 30(b), que os mecanismos interseccionais favorecem o aparecimento de mais agrupamentos em todos os fluxos experimen-

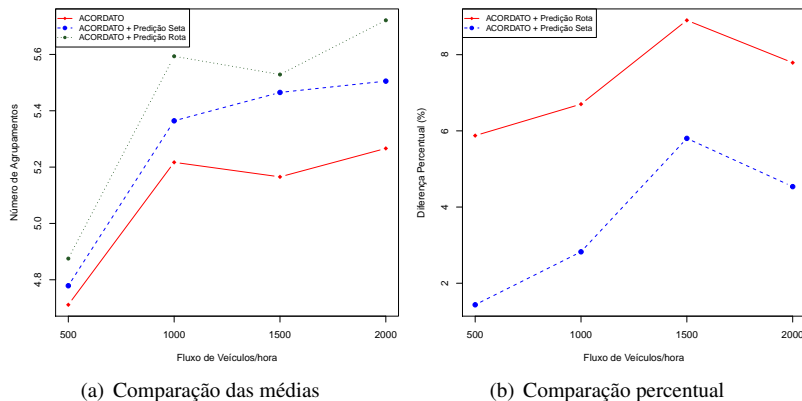


Figura 30 – Número de agrupamentos diante do caso 2

tados, com uma variação nos índices percentuais em torno de 2%. O aumento no fluxo de veículos, contribui para que os mecanismos interseccionais promovam mais particionamentos antecipados dos agrupamentos, proporcionando a coexistência de um número maior de agrupamentos na região interseccional, consequentemente elevando os índices observados na Figura 30(a).

Conforme descrito na Seção 6.1, um número maior de agrupamentos normalmente prejudica o encaminhamento de mensagens sobre arquiteturas hierárquicas, já que mais líderes estão aptos a encaminhar e participar do tráfego de dados, aumentando o *overhead* na rede.

Por outro lado, a existência de um número maior de agrupamentos na região de intersecção neste caso não significa necessariamente uma perda no desempenho das aplicações de roteamento. Por exemplo, aplicações de roteamento podem se usufruir da premissa das informações de seta e rota planejada existentes nos agrupamentos para realizar decisões mais eficientes de encaminhamento de pacotes das aplicações por um dado agrupamento. Agrupamentos que se dirijam para a mesma rota, em que a mensagem objetiva ser encaminhada são considerados mais aptos a receber e carregar as mensagens das aplicações de roteamento.

## Transferências de liderança

Os resultados obtidos para a métrica *Transferências de liderança*, no caso 1 do cenário interseccional, são apresentados na Figura 31.

Observa-se na Figura 31, que os mecanismos de predição intersecci-



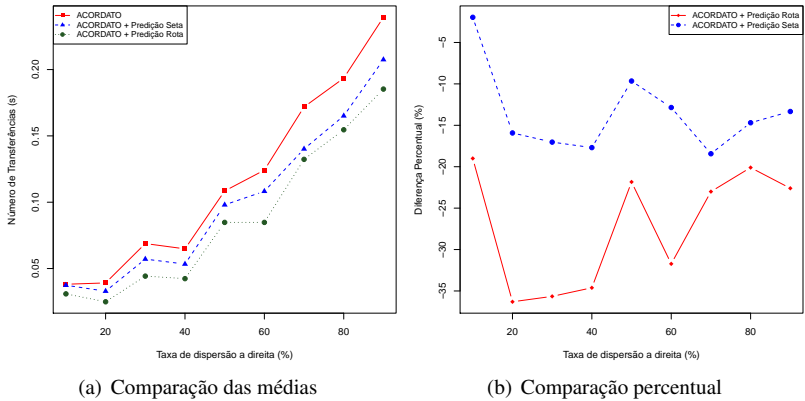


Figura 31 – Número de transferências de liderança diante do caso 1

onais via seta e via rota proporcionaram uma redução no número de transferências de liderança nas regiões de intersecção, tendo a estratégia de rota os melhores resultados com relação a esta métrica.

Conforme descrito na Seção 5.1, a mudança de pista realizada pelos veículos ocorre gradualmente e prejudica o desempenho do sistema SIGA. Como a mudança de pista ocorre inicialmente com os nodos de borda, nodos mais próximos à intersecção, a centralidade do agrupamento é afetada e deslocada constantemente, a cada mudança de pista que um nodo do agrupamento realiza para contornar uma curva. Em SIGA, este fenômeno explica-se pela característica do cálculo de centralidade, o qual considera a distância com relação aos nodos bordas, um dos parâmetros para a realização deste cálculo, Equação 3.2. Com a saída constante dos nodos de borda ao longo do trajeto pela intersecção, o cálculo de centralidade é naturalmente deslocado, tornando outro nodo do agrupamento mais apto a liderança devido a sua melhor centralidade, originando uma transferência de liderança.

Além disso, quando um nodo de borda desagrega-se do agrupamento ocasionado pela mudança de pista, este ao adentrar na nova pista busca a reafiliação a um novo agrupamento. Caso o nodo consiga se reafiliar a um agrupamento nesta nova pista, a reafiliação deste nodo pode ocasionar a mudança de centralidade deste novo agrupamento ao qual o nodo acabou de se agregar. Por isso, a simples mudança de pista de um único nodo membro, quando utiliza-se o sistema SIGA, pode afetar simultaneamente dois agrupamentos na região de intersecção, tornando possível contabilizar duas transferências de liderança.

No entanto, quando emprega-se as estratégias de predição intersecc-

onal via seta ou rota, a mudança de pista de um nodo de borda tem seu efeito reduzido sobre a centralidade do agrupamento, já que agora ao contornarem para uma nova pista, os nodos podem se manter agregados ao agrupamento, permanecendo considerados nos cálculos de centralidade e diminuindo consideravelmente os impactos de sua saída de pista.

Outro fator que contribui para a redução do número de transferência de liderança, é o particionamento coordenado pelos líderes, permitindo que nodos que almejam alterar de pista formem um agrupamento antes que as reduções de velocidade e mudança de centralidade prejudiquem a manutenção do agrupamento. Com a formação antecipada, o subconjunto de veículos que contorna a curva, mantém-se coeso assim que iniciam juntos esta manobra, sem que haja a necessidade de haver transferência de liderança.

Além disso, os aspectos dos mecanismos interseccionais que contribuíram para a redução no número de transferências, mantém-se eficientes mesmo diante da variação do fluxo de veículos, apresentados na Figura 32.

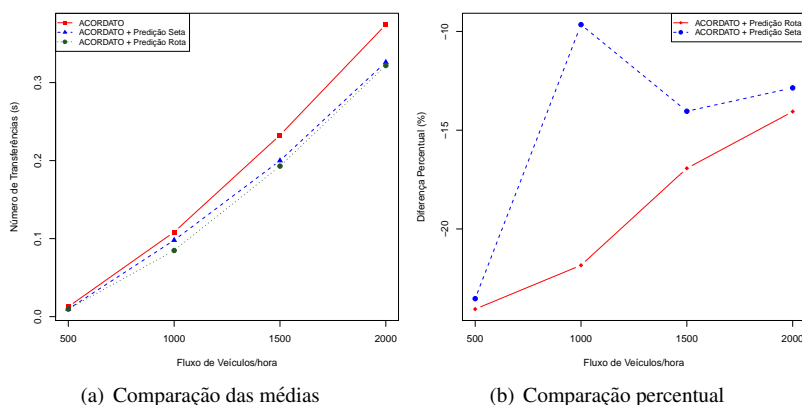


Figura 32 – Número de transferências de liderança diante do caso 2

Nota-se na Figura 32(b), que os mecanismos de predição interseccionais, mantem a redução nos índices de transferências para todos os fluxos de veículos. Entretanto, estes índices percentuais são atenuados comparativamente com SIGA, quando há aumento no fluxo de veículos, com atenuação de 10 pontos percentuais entre o fluxo de 500vph em relação ao fluxo de 2000vph.

A atenuação se explica pela formação de agrupamentos cada vez maiores assim que há aumento nos fluxos de veículos. Por conseguinte, quando um agrupamento com um grande número de membros necessita contornar uma pista, os nodos de borda são os primeiros a reduzirem a velocidade,

diferenciando-se momentaneamente da velocidade dos nodos mais afastados da intersecção. Logo que contornam a curva, os nodos de borda iniciam a aceleração enquanto que nodos do mesmo agrupamento que se localizam mais afastados, mantêm suas velocidades ou ainda estão reduzindo a velocidade para manobrar na curva.

Com isso, sobre a tutela do mesmo agrupamento, mantêm-se nodos em diferentes situações de velocidade, ou seja, alguns desacelerando para contornar a curva, enquanto outros aceleram após adentrarem na nova pista. Esta diferença de velocidade entre os nodos, somado a deformação nas dimensões do agrupamento, favorece a ocorrência de transferência de liderança, devido a mudança de centralidade e velocidade média do agrupamento.

Por causa disso, o benefício empregado pela estratégia interseccional via rota e via seta, a qual mantêm o agrupamento coeso em sua travessia pela intersecção pode também apresentar baixa eficiência para a métrica de transferências de liderança comparativamente ao sistema SIGA.

Contudo, apesar dos mecanismos de predição interseccionais serem menos eficientes em ocasiões em que o agrupamento possui muitos nodos almejando mudar de pista, estes ainda produzem uma estabilidade maior na passagem dos agrupamentos por regiões interseccionais, reduzindo o número de transferência de liderança.

Por fim, dentre as estratégias de predição interseccional, a estratégia via rota é a que consegue atuar e oferecer os melhores índices de particionamento e coesão com o maior número de membros possíveis na travessia de uma intersecção, refletindo numa redução mais acentuada no número de transferências, conforme apresentado na Figura 31(b).

## **Reconfigurações**

A Figura 33 ilustra os resultados dos experimentos sob o ponto de vista da métrica reconfigurações, para o caso 1 do cenário interseccional.

Os resultados apresentados na Figuras 33(a), demonstram que o sistema SIGA com o mecanismo de predição interseccional via rota possui o menor número de reconfigurações entre as propostas avaliadas, nos cenários de tráfego simulados. As reduções alcançadas pelos mecanismos interseccionais provem do fato destes evitarem que haja reconfiguração, quando os veículos mudam de pista e preveem que ele manterá a mesma rota dos demais membros do agrupamento. Entretanto, em SIGA, um veículo quando muda de pista, imediatamente desagrega-se e caso não encontre um líder, uma reconfiguração será contabilizada.

Além disso, na Figura 33(a), observa-se dois comportamentos destacáveis do mecanismo de predição interseccional via seta. Primeiramente, o

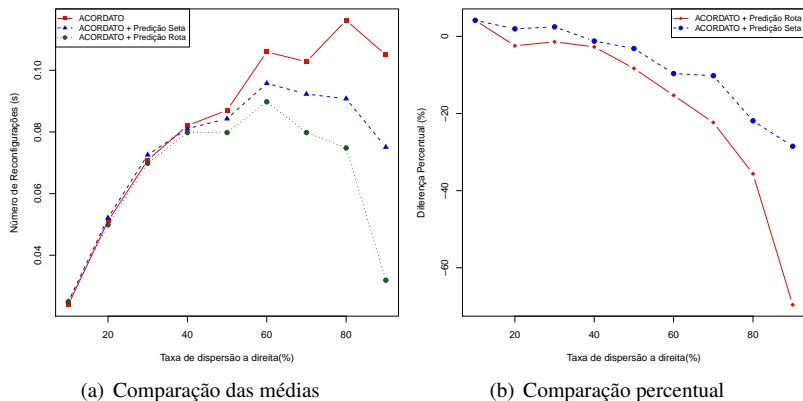


Figura 33 – Número de reconfigurações diante do caso 1

número de reconfigurações é semelhante ao sistema SIGA na faixa de 10% e 30% de dispersão, representando uma piora pouco significativa. Nas baixas taxas de dispersão, os veículos que acionam a seta primeiro aguardam o período  $T_w$ , e ao final do ciclo, realizam o particionamento de acordo com o estado da seta. Normalmente, no caso de baixas taxas de dispersão, o particionamento ocorre com apenas um nodo, não produzindo diminuição real no número de reconfigurações e se aproximando do comportamento do sistema SIGA, a qual realiza a desagregação de maneira gradual a partir da mudança de pista.

Esta baixa taxa de redução das reconfigurações mantém-se nas taxas de 40 % e 50%. Entretanto, nestas duas taxas observou-se, em simulação, outro comportamento para este baixo desempenho. O mecanismo tem um fator preponderante para que haja um bom desempenho do particionamento, que é a escolha do tempo de espera pela seta,  $T_w$ . O tempo escolhido para os experimentos, fez com que os agrupamentos partissem mais de uma vez. Quando os nodos mais a frente acionam a seta, esperam por  $T_w$ , e desagregam do agrupamento, logo em seguida outros nodos do agrupamento acionam a seta e outra rodada de particionamento ocorre, levando a formação e reconfiguração de outro agrupamento. A ocorrência do particionamento múltiplo sobre o mesmo agrupamento ocorreu com maior frequência nas taxas de 40% e 50% e por isso o número de reconfigurações elevou-se nestas taxas.

Nota-se também na Figura 33(a), que a partir das taxas de 60% de dispersão em diante, a robustez do mecanismo de predição interseccional via seta melhora já que mais nodos almejam contornar a direita proporcionando par-

ticionamentos com um conjunto maior de nodos, resultando em um número menor de reconfigurações quando comparado com ao sistema SIGA.

Contudo, os benefícios obtidos com a inclusão dos mecanismos interseccionais são observáveis também nos experimentos para o caso 2 do cenário interseccional, ilustrados na Figura 34.

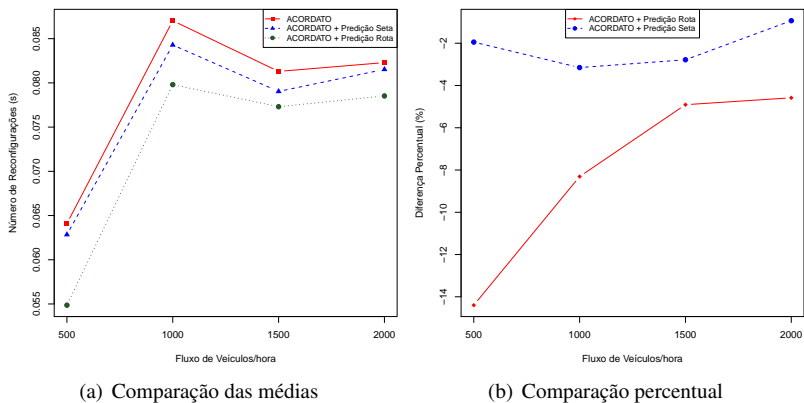


Figura 34 – Número de reconfigurações diante do caso 2

Na figura 34(b), observa-se que o mecanismo de predição interseccional via rota produz as maiores taxas de redução. Entretanto, a partir da taxa de  $1000\text{vph}$ , estas taxas diminuem em relação a SIGA. A maior parcela das reconfigurações contabilizadas, proveem da mudança de pista que os nodos realizam assim que não encontram um líder na pista em que adentram. Entretanto, com o aumento do fluxo de veículos, a chance do nodo mudar de pista e encontrar um líder são maiores, consequentemente diminuindo o número de reconfigurações. Assim, a redução nos índices de reconfiguração dos mecanismos não são causadas pela baixa eficiência destes, mas pela característica do tráfego nas ocasiões de fluxos densos em regiões interseccionais.

Por fim, ambos os mecanismos de rota e seta, mantém-se eficientes com relação ao sistema SIGA, mesmo com a variação do fluxo de veículos, proporcionando um número menor de reconfigurações. A estratégia de manter os agrupamentos coesos durante a passagem pelas intersecções mostrou-se mais uma vez um benefício para a manutenção de agrupamentos estáveis, pois as reconfigurações são evitadas nos casos em que prevê-se que o agrupamento inteiro mude de pista numa intersecção.

## Refiliações

Os resultados para a métrica refiliações, no caso 1 do cenário interseccional, são apresentados na Figura 35.

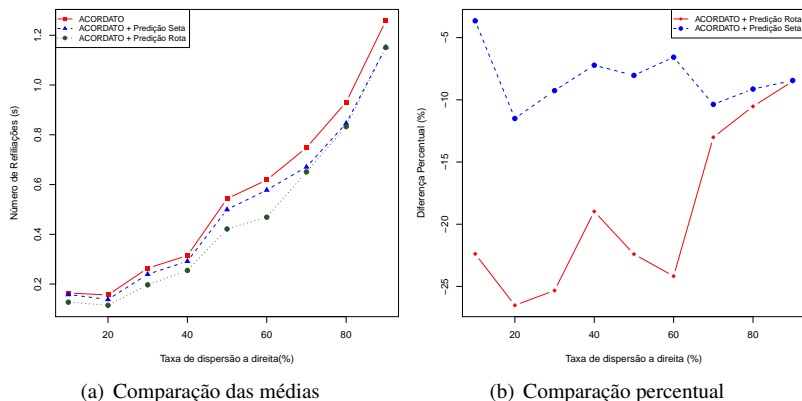


Figura 35 – Número de refiliações diante do caso 1

A Figura 35(a) demonstra que os mecanismos de rota e seta possuem uma média de refiliações menor que ao sistema SIGA.

Na estratégia original de SIGA um nodo membro quando realiza uma mudança de pista tem duas alternativas possíveis, que são: i) refiliar-se com outro agrupamento na pista em que adentrou; ou ii) iniciar uma reconfiguração caso não consiga se comunicar com nenhum líder na nova pista. Assim, um nodo membro que almeja mudar de pista, utilizando-se da estratégia SIGA, contabiliza no mínimo uma refiliação ou uma reconfiguração em sua travessia pela intersecção.

Por outro lado, os mecanismos de rota e seta permitem que os nodos membros mantenham-se agregados aos agrupamentos mesmo que estes nodos estejam localizados em pistas diferentes com relação ao líder, evitando refiliações e desagregações desnecessárias. A introdução dos mecanismos faz com que um nodo membro possa realizar uma mudança de pista sem necessariamente contabilizar uma refiliação ou reconfiguração, diminuindo os índices totais de refiliação, conforme apresentado na Figura 35.

Os índices percentuais, ilustrados na Figura 35(b), principalmente após a taxa de 20% de dispersão demonstram reduções expressivas de redução no número de refiliações, comprovando a robustez da inclusão dos mecanismos. O aumento no número de refiliações proporcional ao aumento na taxa de dispersão para todas as estratégias simuladas, observável na Figura 35(a), deve-

se ao fato que há um número maior de nodos contabilizando ao menos uma refiliação na mudança de pista. Entretanto, os mecanismos interseccionais possuem aumentos com taxas menores com relação a estratégia SIGA.

Perante a variação no fluxo de veículos, caso 2 do cenário interseccional, as refiliações foram reduzidas quando adicionados os mecanismos de predição interseccional em SIGA, conforme ilustrado na Figura 36.

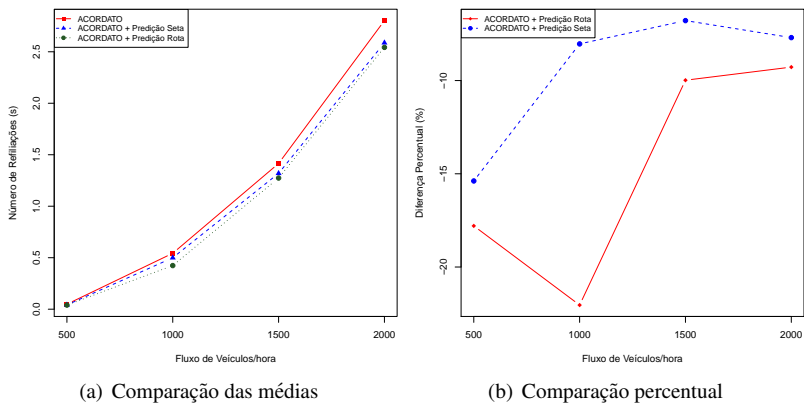


Figura 36 – Número de refiliações diante do caso 2

Finalmente, a variação do fluxo de veículos, demonstrados nas Figuras 36(a) e 36(b), não influenciou no desempenho do mecanismos de seta e rota, ou quais continuaram apresentando desempenhos melhores com relação ao sistema SIGA.

Os dois mecanismos de predição interseccional, tanto com a variação da taxa de dispersão quanto com a variação do fluxo de veículos, apresentaram reduções significativas com relação a estratégia SIGA. Comparativamente, dentre estes mecanismos, o mecanismo predição interseccional via rota apresenta os melhores resultados para todos os casos. Este comportamento se explica, pela maior eficiência na estratégia de particionamento empregada por este mecanismo. No mecanismo de predição interseccional via rota, quando um agrupamento se aproxima da intersecção, o líder sinaliza a todos os nodos que o agrupamento está numa região de intersecção e que as respectivas rotas devem servir de critério para realizar uma desagregação ou manter-se agregado no atual agrupamento. A estratégia do mecanismo de predição interseccional via rota, quando ativada permite atingir todos os nodos do agrupamento, os quais simultaneamente, em conjunto, decidem por manter-se agregados ou iniciar uma nova reconfiguração ou refiliação.

Enquanto isso, no mecanismo de predição via seta, nem sempre a es-

estratégia de particionamento abrange todos os nodos do agrupamento. Em ocasiões que o tempo  $T_w$  expira antes que todos os nodos consigam acionar a seta, a formação ou particionamento do agrupamento é prejudicada, já que apenas uma parcela do agrupamento particionará adequadamente pelo estado da seta. Nestes casos, os nodos que posteriormente acionarem a seta, iniciam uma nova rodada de espera pela seta, aguardando mais um período de tempo  $T_w$ , e conseqüentemente realizam novas refiliações. Entretanto, mesmo obtendo particionamento graduais por causa da expiração do tempo  $T_w$ , o mecanismo de predição interseccional via seta apresenta um desempenho melhor nos cenários de tráfego, quando comparado a estratégia SIGA.

### **Análise dos resultados com mecanismos de predição interseccional**

O sistema SIGA com a inclusão dos mecanismos de predição interseccional, propostas nesta dissertação, apresentou-se mais eficiente com relação a proposta original, em relação a todas as métricas avaliadas. Além disso, nota-se nos resultados, que quando compara-se as duas estratégias interseccionais, os dados experimentais apontam um desempenho superior para a proposta que emprega a informação da rota planejada do motorista.

Um fator que contribui para o melhor desempenho da predição interseccional via rota é a sua atuação antecipada com relação a estratégia via seta. Quanto antes um mecanismo puder atuar na antecipação do particionamento, melhor o desempenho, pois este evita que ocorram desacelerações e aglomerações quando os veículos aproximam-se de regiões de intersecção, e que tanto afetam a manutenção dos agrupamentos.

O início da atuação do mecanismo preditivo via rota baseia-se no tamanho da região antecessora à intersecção. Esta região serve de gatilho para que os algoritmos de predição embutidos nos mecanismos iniciem suas análises e determinam se um particionamento deve ou não ocorrer em um agrupamento. Já o mecanismo preditivo via seta é dependente de duas componentes, que são: i) o acionamento da seta por um nodo do agrupamento; e ii) o tempo de espera pela seta. Assim, a região antecessora, no método via rota, é determinística, proporcionando o início da atuação do mecanismo preditivo via rota, sempre na mesma distância com relação a intersecção, independente do tamanho do agrupamento ou sua velocidade.

Por outro lado, o mecanismo preditivo via seta sofre com constantes mudanças na distância em que inicia sua atuação, já que esta depende do primeiro acionamento de seta realizado por um nodo do agrupamento. A variação no tempo de acionamento está relacionada a parâmetros subjetivos, como: percepção dos motoristas, habilidade do motorista e características da intersecção. Aliado ao tempo  $T_w$  que deve-se esperar para então iniciar o



particionamento, proporcionam a atuação da estratégia via seta ocorrer mais próxima da intersecção.

Conforme discutido na Seção 5.3.3, tempos curtos de  $T_w$  podem provocar particionamentos com poucos veículos, e aproximando a estratégia com o comportamento do sistema SIGA. Tempos excessivamente longos de  $T_w$ , permitem que o agrupamento mantenha nodos com velocidades muito distintas deturpando a componente de velocidade média do agrupamento e mudanças de centralidade significativas causadas pela desaceleração dos nodos que contornam a curva. A escolha do valor de  $4s$  para a componente  $T_w$  mostrou-se com a melhor eficiência para a maioria das taxas de dispersão nos experimentos realizados nesta dissertação. Entretanto, cenários interseccionais diferentes, que possuem outra velocidade máxima da pista e outra dimensão da intersecção, exigem um ajuste desta componente para adequar-se melhor ao comportamento do trafego na região interseccional.

Outro fator que contribui para o melhor desempenho do mecanismo de rota, é que uma vez que o agrupamento identifique que está na região interseccional, todos os nodos participam simultaneamente dos particionamentos, caso esta previsão ocorra. Enquanto isso, o mecanismo de seta nem sempre consegue agregar sob um mesmo particionamento todos os nodos do agrupamento que devam contornar uma curva, pois alguns nodos podem deixar para depois do tempo de espera, acionarem a seta. Como não consegue a desagregação simultânea de todos os nodos, a estratégia de seta não consegue reduzir tanto o número de refiliações e transferências de liderança quanto a estratégia via rota.

Os resultados de refiliação, número de transferência, duração do agrupamento e número de agrupamentos expressam estas diferenças entre as estratégias, justificadas nesta subseção.

Além disso, na duas estratégias interseccionais o número de agrupamentos mostrou-se levemente superior a estratégia original de SIGA. Este aumento deve-se a atuação antecipada dos particionamentos na região interseccional, permitindo que mais agrupamentos simultâneos coexistam na região de intersecção. O tempo de antecipação é relativamente pequeno com relação ao tempo total de passagem do agrupamento pela região de intersecção e não contribui significativamente para reduzir o desempenho das estratégias preditivas, principalmente por causa do baixo índice de elevação, conforme nota-se na Figura 22(b).

Por fim, as melhoras vistas com a inclusão dos mecanismos tem impacto em aplicações de roteamento e coleta de dados. Aplicações de roteamento se beneficiam pelo fato de que as formações dos agrupamentos estejam de acordo com a rota de tráfego das mensagens, facilitando a escolha das rota que as mensagens devem trafegar e com isso melhoram a eficiência na entrega

destas nas VANETs.

## 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os resultados comparativos entre o sistema SIGA e esta agregada com os mecanismos de predição semafórico e interseccional. Estes mecanismos utilizam-se das informações do semáforo e rota planejada dos veículos, para formar e manter agrupamentos estáveis na travessia por regiões semafóricas e interseccionais, que são principais causadoras de quebras de enlace, particionamentos e geradoras de instabilidades na manutenção dos agrupamentos. Os resultados apresentados comprovaram que os mecanismos preditivos, embutidos no sistema SIGA, proporcionaram um aumento na robustez da comunicação, reduzindo o número de reafiliações, reconfigurações, transferências de liderança e aumentando no tempo de duração dos agrupamentos nos cenários considerados nos experimentos.

As métricas de avaliação proporcionaram analisar e contabilizar numericamente as melhoras alcançadas pelo mecanismo de predição semafórica, o qual contribuiu na manutenção de agrupamentos mais estáveis, decorrente da redução do número de reafiliações e transferências de liderança, em torno dos controladores semafóricos. O mecanismo preditivo se beneficiou das informações do estado do semáforo e tempos de transição destes estados, para montar uma estratégia que permita prever o particionamento dos agrupamentos e assim realizar desagregações que amenizem as instabilidades geradas pelas quebras de enlace.

As estratégias empregadas pelos mecanismos de predição interseccional, objetivando a manutenção dos agrupamentos coesos mesmo com as mudanças de pista dos nodos, comprovadamente apresentou benefícios com relação a proposta original de SIGA. Dentre as estratégias propostas para intersecção, a introdução do mecanismo de predição interseccional via rota apresentou os melhores resultados, em praticamente todas as métricas de avaliação, evidenciando uma melhora significativa comparativamente ao sistema SIGA sem o mecanismo. A estabilidade apresentada com a implantação destes mecanismos beneficia principalmente as aplicações de roteamento, já que a formação dos agrupamentos tende a refletir as rotas almejadas pelos nodos de um agrupamento, propiciando decisões eficazes no roteamento de mensagens nas regiões de intersecção.

Os resultados dos experimentos apresentados nas Subseções 6.3.1 e 6.3.2, comprovam que a introdução de mecanismos preditivos colaboram para a melhora na robustez da manutenção dos agrupamentos no sistema SIGA. As

influências deturpadoras das regiões semaforicas e interseccionais, descritas e analisadas, tiveram seus efeitos reduzidos e atenuados no momento em que empregaram-se os mecanismos preditivos propostos nesta dissertação.

Os mecanismos preditivos para as regiões interseccionais obtiveram melhores índices de redução com relação ao mecanismo de predição semaforica. A previsibilidade mais eficiente baseada em rotas, as características comportamentais na região interseccional e as distâncias de atuação dos mecanismos são os fatores que mais contribuíram na maior eficiência dos mecanismos interseccionais. Outro fator que contribui para índices mais significativos quando emprega-se estes mecanismos, é a manutenção dos agrupamentos inteiros que contornam uma intersecção. A manutenção da formação original do agrupamento, permitindo que todos os nodos mantenham-se coesos numa travessia propicia que não haja refiliações, transferências de liderança e reconfigurações, que normalmente ocorreriam caso utiliza-se a proposta original em SIGA.



## 7 CONCLUSÃO

Os elementos de vias urbanas como semáforos e cruzamentos são pontos que propiciam grande mudança de mobilidade, densidade e dispersão de veículos. Nestas regiões, as comunicações em VANETs são prejudicadas pela alternância de líderes nos agrupamentos e quebras de enlace, tornando a manutenção dos algoritmos de agrupamentos desafiadora.

Esta dissertação de mestrado apresenta mecanismos preditivos que inseridos a um sistema de gerenciamento de agrupamentos em VANETs buscam aumentar a robustez dos agrupamentos durante a travessia por regiões semafóricas e interseccionais.

Os mecanismos realizam previsões através de algoritmos heurísticos que procuram antever as quebras de enlace, dispersão de nodos e aumento na densidade dos agrupamentos. Diante da previsão destes eventos, permiti-se atuar antecipadamente a particionamentos e mudanças de mobilidade, produzindo uma organização de agrupamentos mais robusta.

Devido as diferenças nas mobilidades dos veículos em regiões semafóricas e interseccionais, justificou o desenvolvimento de mecanismos distintos que se adequassem melhor as características de cada uma das regiões, produzindo previsões com maior eficiência.

O primeiro mecanismo realiza previsões em regiões semafóricas, e para isso conta com a informações disponibilizadas periodicamente pelos semáforos e nodos vizinhos para prever particionamentos causados pela atuação do semáforo. Os resultados apresentados na Subseção 6.3.1, demonstraram que esta estratégia reduziu principalmente os números de refiliações e transferências de liderança que ocorreram nos agrupamentos. Os benefícios oportunizados pelo mecanismo de previsão semafórica provieram do particionamento antecipado e o compensador de limiar  $W_{th}$ .

Os particionamentos antecipados permitiram que os nodos divergentes com relação a ultrapassagem pelo semáforo, desagregassem de seus agrupamentos em períodos mais propícios, em que as diferenças na mobilidade sejam menores, diminuindo a incidência de refiliação e transferências de liderança. O compensador de limiar  $W_{th}$  operou sobre uma característica marcante dos veículos, que não ultrapassam o semáforo no sinal vermelho, o aumento da densidade junto ao semáforo. A proximidade entre os veículos aliada a baixa velocidade eram causadores de transferências de liderança consideradas desnecessárias no sistema SIGA. Porém, com o advento do aumento no limiar  $W_{th}$ , para agrupamentos densos, permitiu assegurar que as constantes mudanças de centralidade causadas pela aglomeração, observadas nas simulações, não produzissem transferências desnecessárias.

Enquanto isso, os mecanismos preditivos interseccionais, descritos no Capítulo 5, também proporcionaram maior estabilidade nas regiões de intersecções, de acordo com as métricas avaliadas. A predição interseccional é realizada por duas estratégias, que utilizam-se de informações disponíveis nos veículos como o acionamento da seta e a rota planejada nos mapas de navegação. O principal objetivo destes mecanismos é prever as quebras de enlace causadas pela mudança de pista e evitar que os agrupamentos participem quando todos os veículos mudam de pista juntos.

Para isso, os mecanismos propostos realizaram duas tarefas essenciais que melhoraram a estabilidade dos agrupamentos que foram os particionamentos antecipados e a coesão dos nodos do agrupamentos na manobra de mudança de pista. Estas duas tarefas, atuantes simultaneamente nos mecanismos, reduziram consideravelmente índices como refiliações, reconfigurações e transferências de liderança, conforme exposto na Subseção 6.3.2.

Contudo, de forma geral, a atuação dos mecanismos preditivos propostos nesta dissertação contribuíram para o aumento da robustez na comunicação em VANETs em regiões semaforicas e interseccionais. Estas contribuições fornecidas pela utilização dos mecanismos podem ser úteis a aplicações de roteamento quando estas se deparam em regiões semaforicas e interseccionais.

## 7.1 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Dentre as principais contribuições desta dissertação podem ser destacadas as seguintes:

- Uma análise do comportamento do sistema SIGA sob influência de sistemas semaforicos e regiões de intersecção. As perturbações provocadas por estes elementos de tráfego, normalmente são negligenciadas pela maioria das estratégias de formação e manutenção de agrupamentos. Este trabalho buscou analisar e determinar as principais influências que desencadeiam as instabilidades na manutenção dos agrupamentos e o tratamento para estes problemas foram objetivos deste trabalho;
- A concepção de algoritmos heurísticos que realizam a predição de particionamentos em regiões semaforicas, a partir de informações do estado do semáforo e mobilidade dos veículos. A predição empregada no sistema SIGA proporcionou a redução principalmente de refiliações e transferências de liderança, tornando os agrupamentos mais estáveis na passagem por regiões com controladores semaforicos; e
- Outra contribuição é a elaboração de algoritmos heurísticos, que in-

seridos ao sistema SIGA, efetuam a predição de particionamentos em regiões interseccionais. A predição aplicada possibilitou que os particionamentos sejam antecipados antes mesmo da chegada dos nodos à intersecção, reduzindo o número de refiliações e transferências de liderança, comumente causadas por desacelerações em regiões de intersecção. Além disso, os algoritmos preditivos colaboraram na coesão e manutenção de agrupamentos inteiros que contornam uma intersecção, permitindo que estes continuem com seus membros unidos sob o mesmo líder, contribuindo para a redução nos índices do número de refiliações, reconfigurações, transferências de liderança e agrupamentos duradouros.

Finalmente, os mecanismos de predição propostos, tanto para região semaforica como interseccional, contribuem na precisão das informações da coleta de dados, a partir da premissa que estes mecanismos permitem reduzir as influências e interferências nos agrupamentos. As constantes mudanças de liderança estão entre os principais fatores que impedem a correta relação dos veículos na pista, do ponto de vista dos sistemas coletores de dados instalados nas rodovias.

## 7.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

As contribuições e resultados apresentados nesta dissertação apontam oportunidades para trabalhos futuros. A otimização de valores para os parâmetros dos algoritmos que realizam a predição, tanto na região semaforica como na região interseccional, provêm pesquisas que visem refinar e melhorar o desempenho das predições nos cenários demonstrados neste trabalho. As componentes dos algoritmos de predição semaforica, que avaliam o grau de confiabilidade da ultrapassagem de um veículo por um semáforo, podem usufruir-se de novos parâmetros heurísticos, providos pela mobilidade dos veículos e características do tráfego, que conduzam a uma previsibilidade melhor, como por exemplo: velocidade média dos veículos à frente, acidentes na pista e número de faixas.

Enquanto isso, os mecanismos de predição interseccional via rota poderia se valer de segmentos antecessores com dimensões flexíveis, que seriam determinados de acordo com o tipo de intersecção e velocidade máxima permitida na pista. A dimensão do segmento antecessor determina o ponto de decisão para iniciar a predição interseccional, por isso encontrar um ponto ótimo, que represente a distância média em que os motoristas iniciam as desacelerações numa determinada intersecção, contribuiria para uma previsibilidade eficiente. Além disso, a determinação da distância média em que

os motoristas desaceleram e acionam a seta, contribuiria diretamente também para aprimorar a atuação do mecanismo de predição interseccional via seta, permitindo ajustar os tempos de espera pela seta e consequentemente tornando os particionamentos mais precisos nesta região.

Outro aspecto relacionado aos algoritmos de predição interseccionais, é que estes possuem os principais atributos heurísticos para atuar nas rampas de acesso em rodovias, antecipando refiliações e particionamentos, e possibilitando que a entrada de veículos não eleve o número de transferências de liderança e reconfigurações nos agrupamentos vigentes nas rodovias. Os desafios enfrentados neste tipo de cenário são similares aos relacionados em regiões de intersecção. No entanto, a estratégia de predição via seta deva reconsiderar as informações da seta em conjunto com o senso de direção neste cenário, pois os veículos normalmente não alteram o senso de direção quando adentram nas rodovias via rampas de acesso.

Por fim, outro campo de pesquisa para trabalhos futuros são os cenários complexos, constituídos por intersecções com mais de um ponto de dispersão, e intersecções equipadas com sistemas semafóricos. O cenário interseccional com semáforo, em particular, apresenta um novo desafio para os mecanismos de predição apresentados nesta dissertação. Nesta circunstância, os dois mecanismos de predição, semafórico e interseccional, devem trabalhar em conjunto para permitir que agrupamentos atravessem estas regiões com estabilidade, ou seja, com o mínimo necessário de reconfigurações, refiliações e transferências de liderança.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWAL, R.; MOTWANI, M. Survey of clustering algorithms for manet. *CoRR*, abs/0912.2303, 2009.
- ALMALAG, L. S.; WEIGLE, M. C. Using traffic flow for cluster formation in vehicular ad-hoc networks. *IEEE 35th Conference on Local Computer Networks*, 2010.
- BASAGNI, S. Distributed clustering for ad hoc networks. In: . [S.l.: s.n.], 1999. p. 310–315.
- BASAGNI, S. et al. A generalized clustering algorithm for peer-to-peer networks. In: *in Workshop on Algorithmic Aspects of Communication*. [S.l.: s.n.], 1997.
- BASU, P.; KHAN, N.; LITTLE, T. D. C. A mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks. In: *In International Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing (WNMC2001)*. [S.l.: s.n.], 2001. p. 413–418.
- BONONI, L.; FELICE, M. D. A cross layered mac and clustering scheme for efficient broadcast in vanets. In: . [S.l.: s.n.], 2007.
- CAMBRUZZI, E. *SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE AGRUPAMENTOS EM REDES VEICULARES*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- CAMBRUZZI, E.; FARINES, J.-M.; KRAUS, W. Um algoritmo baseado em peso para formação e manutenção de agrupamentos em redes veiculares. *7o-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, Recife-Brazil, 2009.
- CAR 2 CAR COMMUNICATION CONSORTIUM. jun. 2012. <<http://www.car-2-car.org/>>.
- CHATTERJEE, M.; DAS, S. K.; TURGUT, D. An on-demand weighted clustering algorithm (wca) for ad hoc networks. In: . [S.l.: s.n.], 2000. p. 1697–1701.
- CHEN, Z. *Tracking Vehicular Motion-Position Using V2V Communication*. Tese (Master's Thesis) — University of Waterloo, August 2010.

COMMUNITY. *A simulator for WSNs*. 2012.

<<http://castalia.npc.nicta.com.au/>>. Acessado em 07/06/2012.

FAN, P. Improving broadcasting performance by clustering with stability for inter-vehicle communication. *IEEE 65th Vehicular Technology article-Spring*, 2007.

FREUND, J. E. *Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade*. [S.l.]: Bookman, 2000.

GERLA, M.; TSAI, J. T.-C. Multicluster, mobile, multimedia radio network, wireless networks. In: . [S.l.: s.n.], 1995. p. 255–265.

GOPALASWAMY, S. *Dynamic Clustering Protocol based on Relative Speed in Mobile Ad Hoc Networks For Intelligent Vehicles*. Tese (Doutorado) — Auburn University, 2007.

GUNTER, Y.; WIEGEL, B.; GROSSMANN, H. Cluster-based medium access scheme for vanets. In: . [S.l.: s.n.], 2007. p. 343–348.

HARTENSTEIN, H.; LABERTEAUX, K. P. *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*. [S.l.]: Wiley, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. 2007.

<<http://www.ipea.gov.br/Destaques/textos/relatorio.pdf>>.

JIANG, M.; LI, J.; TAY, Y. Cluster based routing protocol. In: . [S.l.: s.n.], 1999. p. 255–265.

JOHNSON, D. B.; MALTZ, D. A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In: *Mobile Computing*. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 153–181.

KÖPKE, A. et al. Simulating wireless and mobile networks in omnet++ the mixim vision. In: *Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops*. ICST, Brussels, Belgium, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008. (Simutools '08), p. 71:1–71:8. ISBN 978-963-9799-20-2. <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1416222.1416302>>.

KOULAKEZIAN, A. *ASPIRE: Adaptive Service Provider Infrastructure for VANETs*. Tese (Doutorado) — University of Toronto, 2011.

- KRAJZEWICZ, D. et al. The "simulation of urban mobility" package: An open source traffic simulation. In: *2003 European Simulation and Modelling Conference*. [S.l.: s.n.], 2003.
- LI, P.; ABBAS, M. Stochastic methods for dilemma zone protection at signalized intersections. *Journal of Transportation Engineering-asce*, v. 136, 2010.
- LI, W. *Network Clustering in Vehicular Communication Networks*. Tese (Doutorado) — University of Toronto, 2011.
- LIN, C. R.; GERLA, M. Adaptive clustering for mobile wireless networks. In: . [S.l.: s.n.], 1997. v. 15, p. 1265–1275.
- MACQUEEN, J. B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: . [S.l.: s.n.], 1967. v. 1, p. 281–297.
- MAOWAD, H.; SHAABAN, E. Enhancing aomdv routing protocol for v2v communication. In: *Proceedings of the 6th international conference on Communications and Information Technology, and Proceedings of the 3rd World conference on Education and Educational Technologies*. Stevens Point, Wisconsin, USA: World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2012. (WORLD-EDU'12/CIT'12), p. 20–27. ISBN 978-1-61804-077-0. <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2209535.2209538>>.
- MOUSTAFA, H.; ZHANG, Y. *Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications*. [S.l.]: Taylor & Francis Group, 2009.
- NAVTEQ. *NAVTEQ's NAVSTREETS Street Data Reference Manual*. 3.4. ed. [S.l.], October 2009.
- NEWMAN-ASKINS, R.; FERREIRA, L.; BUNKER, J. M. Intelligent transport systems evaluation: From theory to practice. In: JAEGER, V. (Ed.). *21st ARRB and 11th REAAA Conference*. Cairns, Australia: ARRB Transport Research Ltd, 2003.
- NI, S.-Y. et al. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. In: KODESH, H. et al. (Ed.). *MOBICOM*. [S.l.]: ACM, 1999. p. 151–162. ISBN 1-58113-142-9.
- OLARIU, S.; WEIGLE, M. C. *Vehicular Networks: From Theory to Practice*. [S.l.]: Taylor & Francis Group, 2009.
- PARIDEL, K. et al. Teamwork on the road: Efficient collaboration in vanets with context-based grouping. *Procedia CS*, v. 5, p. 48–57, 2011.

PONZIANI, R. Turn signal usage rate results: A comprehensive field study of 12,000 observed turning vehicles. *SAE 2012 World Congress and Exhibition*, April 2012.

PUAN, O. C.; ISMAIL, C. R. Dilemma zone conflicts at isolated intersections controlled with fixed-time and vehicle actuated traffic signal systems. In: . [S.l.: s.n.], 2006. v. 10, n. 3.

REUSCHENBACH, A. et al. idriver - human machine interface for autonomous cars. In: *Proceedings of the 2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011. (ITNG '11), p. 435–440. ISBN 978-0-7695-4367-3. <<http://dx.doi.org/10.1109/ITNG.2011.83>>.

SANTOS, R. A.; EDWARDS, R. M.; SEED, N. L. Supporting inter-vehicular and vehicle-roadside communications over a cluster-based wireless ad-hoc routing algorithm. In: *Proceedings of the winter international symposium on Information and communication technologies*. Trinity College Dublin, 2004. (WISICT '04), p. 1–6. <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=984720.984797>>.

SANTOS, R. A.; SEED, N. Inter vehicular data exchange between fast moving road traffic using ad-hoc cluster based location algorithm and 802.11b direct sequence spread spectrum radio. In: . [S.l.: s.n.], 2003.

SATO, T.; AKAMATSU, M. Analysis of drivers' preparatory behaviour before turning at intersections. *IET Intelligent Transport Systems*, IET, v. 3, n. 4, p. 379–389, 2009. <<http://link.aip.org/link/?ITS/3/379/1>>.

SHEA, C. *APROVE: A Stable and Robust VANET Clustering Scheme using Affinity Propagation*. Tese (Doutorado) — University of Toronto, 2009.

SIVAVAKEESAR, S.; PAVLOU, G. A prediction-based clustering algorithm to achieve quality of service in multihop ad hoc networks. In: . [S.l.: s.n.], 2002.

SU, H.; ZHANG, X. Clustering-based multichannel mac protocols for qos provisionings over vehicular ad hoc networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, v. 56, n. 6, p. 3309–3323, 2007.

THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM. jun. 2012. <<http://www.its.dot.gov/>>.

TIMES, N. Y. *Google Cars Drive Themselves, in Traffic*. October 2010. <<http://www.nytimes.com/2010/10/10/science/10google.html?pagewanted=all>>. Acessado em 12/10/2012.

TOUTOUH, J.; ALBA, E. An efficient routing protocol for green communications in vehicular ad-hoc networks. In: *Proceedings of the 13th annual conference companion on Genetic and evolutionary computation*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (GECCO '11), p. 719–726. ISBN 978-1-4503-0690-4. <<http://doi.acm.org/10.1145/2001858.2002076>>.

VARGA, A. The omnet++ discrete event simulation system. *Proceedings of the European Simulation Multiconference (ESM'2001)*, Junho 2001.

VARGA, A. *The OMNeT++ discrete event simulation system*. 2012. <<http://www.omnetpp.org>>. Acessado em 11/01/2012.

WIEGEL, B.; GÜNTER, Y.; GROßMANN, H. P. Cross-layer design for packet routing in vehicular ad hoc networks. In: *VTC Fall*. [S.l.]: IEEE, 2007. p. 2169–2173.

WOLNY, G. Modified dmac clustering algorithm for vanets. In: . [S.l.: s.n.], 2008. p. 268–273.

YU, J. Y.; CHONG, P. H. J. A survey of clustering schemes for mobile ad hoc networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, v. 7, n. 1-4, p. 32–48, 2005.