



**IGOR SOARES B. DOS SANTOS**

**AGREGAÇÃO DE MENSAGENS EM REDES VEICULARES:  
UM ESTUDO ANALÍTICO**

**LAVRAS – MG**

**2021**



**IGOR SOARES B. DOS SANTOS**

**AGREGAÇÃO DE MENSAGENS EM REDES VEICULARES:  
UM ESTUDO ANALÍTICO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Graduação em Sistemas de Informação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. DSc. Hermes Pimenta de Moraes Jr.

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos  
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Santos, Igor Soares Barbosa

Agregação de mensagens em Redes Veiculares : Um estudo analítico / . – Lavras : UFLA, 2021.

48 p. : il.

Monografia(bacharelado)–Universidade Federal de Lavras, 2021.

Orientador: Prof. DSc. Hermes Pimenta de Moraes Jr..

Bibliografia.

*Dedico este trabalho à minha mãe,  
que me ensinou o valor do conhecimento em tempos difíceis.*



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus amigos-irmãos, Hícaro e Witor, pelos trabalhos feitos, horas gastas, lágrimas e risos.

Aos meus pais pela educação que me foi dada, nos melhores e piores momentos da vida.





*Até mais e obrigado pelos peixes!*  
*(O Guia do Mochileiro das Galáxias - Douglas Adams)*



## RESUMO

Tratando-se de redes veiculares, é notável o potencial da tecnologia, com aplicações práticas na vida real e base teórica sólida para desenvolvimentos acadêmicos. Também é verdade, porém, a existência de diversos desafios, envolvendo a complexidade, a volatilidade e a quantidade de mensagens trafegadas na rede. O foco deste trabalho é propor um método para reduzir o impacto desse último problema, através de algumas alterações nos padrões existentes. É feito, primeiramente, um estudo de outros trabalhos, tanto de soluções existentes quanto de análises quantitativas, para então construir o método. Propõe-se a utilização de um mecanismo previsto no padrão, a agregação de CAMs (*Cooperative Awareness Messages*) em CPMs (*Collective Perception Messages*), em conjunto com algumas alterações nas regras já existentes, com o intuito de reduzir a quantidade de mensagens trafegadas, gerando ganhos de eficiência na rede. Após a proposta, é feito um estudo analítico com o intuito de mensurar o efeito das alterações em questão, bem como adquirir discernimento quanto ao potencial do método proposto no problema observado. Após a análise de alguns cenários, a proposta se mostra promissora, com resultados positivos nos testes iniciais analisados.

**Palavras-chave:** redes veiculares; percepção cooperativa; CAM; CPM; análise.



## **ABSTRACT**

About vehicular networks, the potential of the technology is remarkable, with practical applications in real life and a solid theoretical basis for academic development. It is also true, however, that there are several challenges, involving complexity, volatility and the amount of messages transmitted on the network. The focus of the work is to propose a method to reduce the impact of this last problem, through some changes in the existing standards. First, a study of other works, both existing solutions and quantitative analyses, is carried out, in order to build the method. It is proposed to use a mechanism provided for in the standard, the aggregation of CAM messages into CPM messages, together with some changes in the existing rules, in order to reduce the amount of transmitted messages, generating efficiency gains in the network. After the proposal, an analytical study is carried out in order to measure the effect of the changes in question, as well as gain insight about the potential of this method in the problem observed. After analyzing some scenarios, the proposal is promising, with positive results in the initial tests analyzed.

**Keywords:** vehicular networks; cooperative perception; CAM; CPM; analytics.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processo de geração de CAM . . . . .	22
Figura 2.2 – Processo <i>Check Dynamics</i> . . . . .	23
Figura 2.3 – Processo de Geração de CPM . . . . .	26
Figura 2.4 – Processo de Seleção de Objetos Percebidos . . . . .	27
Figura 2.5 – Função de Densidade de Probabilidade do número de objetos incluídos em cada CPM com regras dinâmicas e periódicas . . . . .	30
Figura 3.1 – Fluxograma do Algoritmo da Proposta . . . . .	35
Figura 3.2 – Processo <i>Check Dynamics</i> (Adaptado) . . . . .	36
Figura 3.3 – Processo de emissão de CAM (Adaptado) . . . . .	37
Figura 3.4 – Fluxograma do Algoritmo da Proposta (Adaptado) . . . . .	38
Figura 3.5 – Exemplo de Cenário . . . . .	40





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	17
<b>1.1</b>	<b>Contexto, Motivação e Desafios</b>	17
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	18
<b>1.3</b>	<b>Metodologia</b>	18
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do texto</b>	18
<b>2</b>	<b>REDES VEICULARES</b>	19
<b>2.1</b>	<b>Conceitos iniciais</b>	19
<b>2.2</b>	<b>Disseminação de informações em <i>vanets</i></b>	19
<b>2.2.1</b>	<b>Soluções existentes e desafios</b>	20
<b>2.2.2</b>	<b>Padrões internacionais</b>	21
<b>2.2.2.1</b>	<b>Serviço Básico de Percepção Cooperativa (<i>Cooperative Awareness Basic Service</i>)</b>	21
<b>2.2.2.2</b>	<b>Serviço Básico de Notificação Ambiental Descentralizada (<i>Decentralized Environmental Notification Basic Service</i>)</b>	24
<b>2.2.2.3</b>	<b>Serviço Básico de Percepção Coletiva (<i>Collective Perception Basic Service</i>)</b>	24
<b>2.2.3</b>	<b>Trabalhos Existentes em Disseminação de Informações</b>	28
<b>3</b>	<b>INTEGRAÇÃO DE CAMS E CPMS COMO FORMA DE REDUZIR A QUANTIDADE DE MENSAGENS TRAFEGADAS</b>	33
<b>3.1</b>	<b>Integração de CAMs e CPMS</b>	33
<b>3.1.1</b>	<b>Proposta de Análise</b>	33
<b>3.1.2</b>	<b>Análise da solução proposta</b>	39
<b>3.1.3</b>	<b>Ganhos em quantidade de dados trafegados</b>	42
<b>3.1.4</b>	<b>Discussão</b>	42
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	45
<b>4.1</b>	<b>Considerações finais</b>	45
<b>4.2</b>	<b>Contribuições do trabalho</b>	45
<b>4.3</b>	<b>Trabalhos futuros</b>	46
	<b>REFERÊNCIAS</b>	47



## 1 INTRODUÇÃO

A comunicação sem fio entre veículos (e outros dispositivos de estrada) se apresenta como uma importante ferramenta para melhorar a segurança de motoristas e passageiros, além de apresentar grande potencial para desenvolvimento das mais diversas aplicações (SICHITIU, 2008). No contexto dos Sistemas Inteligentes de Transporte há o conceito de Redes Veiculares Ad Hoc (*Vehicle Ad Hoc Networks* ou VANETs) e são redes focadas na comunicação entre veículos (V2V) bem como de veículos com infraestruturas de “beira de estrada” (V2I) (STANDARD, 2014). Grandes esforços foram empreendidos nos últimos anos, proporcionando a essa área padronização e testes práticos que vêm demonstrando a viabilidade desses padrões (DARAGHMI; YI; STOJMENOVIC, 2013).

### 1.1 Contexto, Motivação e Desafios

Dadas as peculiares características desse tipo de rede, diversos desafios se apresentam, por exemplo o seu alto grau de dinamismo (tendo veículos como nós que estão constantemente entrando e saindo da rede) e uma grande quantidade de entidades que podem, potencialmente, gerar informações (objetos na estrada, acidentes, engarrafamentos, outros veículos, sensores no veículo, etc.) (SIKORA et al., 2014).

Existem diversas propostas que solucionam questões de disseminação de informação em VANETs (BREU; MENTH, 2014), porém, tais se mostram focadas em certo escopo e tipo de informação, inviabilizando a cooperação entre diferentes aplicações. Pode-se citar também problemas relacionados à topologia da rede, altamente efêmera, com muitos participantes e diversas variações em densidade tornando estratégias como áreas geográficas, partições de rede, endereços de destino (dentre outras) pouco viáveis (BOLDRINI et al., 2010).

O ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) propõe, em sua padronização, categorias de mensagens a serem utilizadas por redes veiculares, destacando-se a CAM (*Cooperative Awareness Message*) e a CPM (*Collective Perception Message*). De maneira geral, CAMs contém informações inerentes ao ITS-S (*Intelligent Transport System Station*) que gera a mensagem (como sua posição, velocidade, direção, etc.) enquanto CPMs agregam informações quanto ao ambiente em torno do ITS-S (coletadas através de seus sensores de percepção), ambos os tipos de mensagens e as interações entre elas constituirão tópico de interesse neste trabalho e são aprofundadas no Capítulo 2.

Essa combinação entre a utilidade prática do tema, ampla padronização e desafios ainda existentes tornam a disseminação de mensagens em VANETs um objeto de estudo de grande interesse tanto para pesquisa acadêmica quanto para a sociedade em geral.

## **1.2 Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho é avançar na busca de métodos eficientes de disseminação de informações em VANETs. A abordagem escolhida propõe avaliar o impacto da redução da quantidade de mensagens necessárias ao funcionamento da rede, através da análise da possibilidade de utilização de técnicas de agregação de mensagens CAM e CPM.

Após estabelecer esse método, será possível comparar cenários onde a disseminação de mensagens desses tipos é feita com e sem a utilização dessas técnicas, chegando a uma conclusão quanto ao impacto das mesmas.

## **1.3 Metodologia**

A solução proposta busca estabelecer um método de agregação de mensagens CAM e CPM com a intenção de reduzir o tráfego na rede sem implicar em perdas na qualidade das informações trafegadas. A qualidade do método proposto é avaliada através da comparação de resultados obtidos através da análise de cenários com o método proposto versus um cenário base (sem a aplicação do método), além de pesquisas bibliográficas e estudos analíticos.

## **1.4 Estrutura do texto**

O atual capítulo introduz o contexto, desafios e objetivos do trabalho, dando base para os capítulos seguintes que, por sua vez, expõem progressivamente a solução proposta, primeiro apresenta-se conceitos gerais relacionados à VANETs, formas de endereçamento nessas redes e formas de disseminação de informações, em seguida adentra-se em questões mais específicas do problema abordado, examinando trabalhos analíticos anteriores e descrevendo o método proposto, após isso exibem-se conclusões e comparações do método proposto, comparando-os e discutindo os resultados obtidos e, por último, é exposto um encerramento para o trabalho bem como perspectivas para trabalhos futuros.

## 2 REDES VEICULARES

VANET (vehicular ad hoc network) ou Rede Veicular Ad Hoc é um termo que se refere à uma rede criada pela aplicação dos conceitos de MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*) ao contexto de veículos de transporte e sua infraestrutura. O termo foi introduzido em 2001 por Chai Keong Toh no livro *Ad Hoc Mobile Wireless Networks* e prevê a integração, não apenas entre veículos de transporte (a chamada comunicação *vehicle-to-vehicle* ou V2V), mas também com dispositivos de beira de estrada (*Vehicle-to-Infrastructure* ou V2I).

### 2.1 Conceitos iniciais

A integração entre veículos e dispositivos de beira de estrada, bem como toda informação compartilhada na rede formada por tais participantes, colaboram para prover segurança, melhor navegação e diversos outros serviços aos participantes de uma VANET (TOH, 2001).

Vale também abordar aqui o conceito de ITS (*Intelligent Transport System*), uma categorização que define de forma abrangente todo sistema/aplicação que se utiliza de tecnologias de informação e comunicação no âmbito do transporte em estradas. Essa categoria geral abrange, portanto, veículos diversos, componentes de infraestrutura, usuários, ferramentas de controle de tráfego e mobilidade, bem como as interfaces responsáveis pelas comunicações entre essas partes (UNION, 2010).

### 2.2 Disseminação de informações em *vanets*

Dentre os diversos tópicos que podem ser desenvolvidos no escopo das redes veiculares encontram-se as questões relacionadas à disseminação de informações nessas redes, questões essas que trazem consigo suas peculiaridades e desafios. Situações relacionadas à VANETs se diferenciam de outros tipos de redes em três principais aspectos: baixo índice de recepção de pacotes, conectividade intermitente e mudanças abruptas na densidade da rede (DARAGHMI; YI; STOJMENOVIC, 2013). Essas características fazem com que grande parte das soluções existentes para disseminação de dados de forma confiável não sejam adequadas para redes veiculares, sendo necessário novos métodos e abordagens mais específicas. Como exemplo, protocolos projetados para redes ad hoc sem fio comuns (não veiculares) assumem a conectividade da rede

como constante, perdendo desempenho em VANETs dado que não consideram a desconexão de nós da rede nem são preparados para lidar com a descoberta de novos vizinhos (ROS et al., 2009).

### 2.2.1 Soluções existentes e desafios

Uma forma de melhor entender os desafios envolvidos no processo de disseminação de informação em redes veiculares é analisar algumas soluções já propostas para o tema bem como suas limitações.

Por exemplo, o algoritmo de roteamento TRADE (*TRACKing DETECTION*) (SUN et al., 2000) propõe uma solução para cenários de veículos posicionados em pistas paralelas em uma estrada. Nesse método um veículo ao retransmitir certa informação irá ter como destinatário o veículo mais longe que conseguir alcançar na rede, com o intuito de reduzir a quantidade de retransmissões necessárias. O veículo destinatário irá repetir esse mesmo processo, dando prosseguimento à disseminação. Contudo, esse método pressupõe que o veículo emissor da mensagem possui conhecimento prévio da arquitetura da rede e, sendo a rede altamente volátil, é possível que o veículo escolhido como receptor da mensagem já não faça mais parte da rede no momento da emissão da mensagem (por ter tomado outro caminho em uma interseção, por exemplo). Além disso, também é possível que um novo veículo faça parte da rede como o "mais distante do emissor", porém o emissor não terá essa informação atualizada e enviará sua mensagem para o antigo "veículo mais distante".

O algoritmo DDT (*DISTANCE DEFER TRANSFER*) (SUN et al., 2000) também assume um cenário similar ao TRADE (pistas paralelas em uma estrada) e propõe que um veículo emissor informe, juntamente com os dados disseminados, sua posição, dessa forma, diferente do TRADE, esses dados serão transmitidos para todos veículos em um certo raio de distância. Após essa primeira transmissão, os veículos receptores irão calcular um tempo de espera para retransmissão inversamente proporcional à distância do remetente, ou seja, o veículo mais distante do remetente será o primeiro a reemitir a mensagem. Esse método busca evitar que todos os veículos na área retransmitam a mesma mensagem (dado que a primeira retransmissão, do veículo mais afastado do remetente, irá bloquear os outros vizinhos). Contudo, dado o baixo índice de recepção de pacotes inerente à rede, boa parte desses vizinhos não receberão a retransmissão e irão também gerar novas mensagens, potencialmente gerando sobrecarga nessa rede.

VDEB (*VEHICLE-DENSITY-BASED EMERGENCY BROADCAST*) (TSENG et al., 2010) é um protocolo orientado ao receptor, considerando vizinhos em uma área circular em torno do remetente da mensagem. Nesse

método os possíveis destinatários de uma mensagem são particionados em anéis, cujos os raios são calculados de forma inversamente proporcional à densidade de veículos na área (predeterminada por mensagens *broadcast* periódicas). Nota-se a divergência deste método frente ao DDT, que utilizava a distância do remetente no cálculo de retransmissão, enquanto o VDEB utiliza a densidade de veículos. Veículos no anel mais externo terão prioridade na retransmissão da mensagem e colisões serão tratadas conforme mecanismo de espera da IEEE 802.11p (JIANG; DELGROSSI, 2008).

O TO-GO (*topology-assisted geopportunist routing*) (LEE; LEE; GERLA, 2010) propõe um roteamento de pequena escala, porém considerando que tal método faça parte de outro roteamento, de larga escala. Para manter conectividade é executada uma busca gulosa até encontrar a próxima interseção na rota selecionada. O envio de mensagens terá como alvo o nó com o maior número de vizinhos (estimativa baseada em *beacons*), calcula-se então uma elipse em torno deste nó alvo tomando todos os vizinhos dentro dessa elipse como candidatos a receptores imediatos. Dentre os candidatos, uma função de atraso será calculada e o candidato com menor atraso (em relação ao alvo) será escolhido para receber e retransmitir a mensagem. Esse método busca resolver o problema de desconexão de veículos (agravado em pontos de interseção na estrada) prevendo esse ponto de interseção e agindo de acordo, porém, para isto, é necessária a etapa de busca gulosa, que implica em um excesso de mensagens sendo emitidas podendo causar congestionamentos na rede.

## 2.2.2 Padrões internacionais

### 2.2.2.1 Serviço Básico de Percepção Cooperativa (*Cooperative Awareness Basic Service*)

Como definido pela ETSI (ITS, 2019), CAMs (*Cooperative Awareness Messages*) são mensagens trocadas numa rede de ITSs para que se estabeleça entre os integrantes da rede certo nível de percepção, além de proporcionar cooperação em termos de desempenho dos veículos que se utilizam dessa rede. O conteúdo dessas mensagens varia conforme o tipo de estação ITS que a gerou para que seja possível que outro participante da rede, ao receber uma mensagem desse tipo, tenha ciência de certos atributos relevantes da estação que emitiu a mensagem (Posição, velocidade e direção, por exemplo, caso a estação que gerou a mensagem seja um veículo).

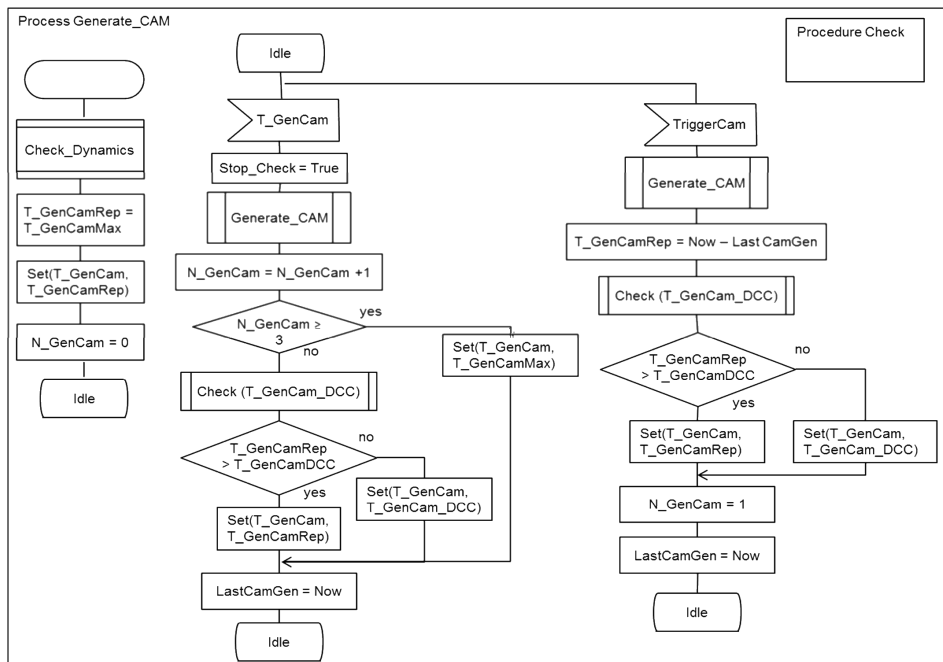
O intervalo de geração de CAMs deverá ser  $T_{GenCam}$  sendo  $100ms \leq T_{GenCam} \leq 1000ms$ .

Além disso, novas mensagens também são geradas nos seguintes eventos:

1. A diferença absoluta entre a posição atual do veículo e sua posição anterior excede 4m;
  
2. A diferença absoluta entre a velocidade atual e a anterior excede 0,5 m/s;
  
3. A diferença absoluta entre a direção atual e a anterior excede 4 graus.

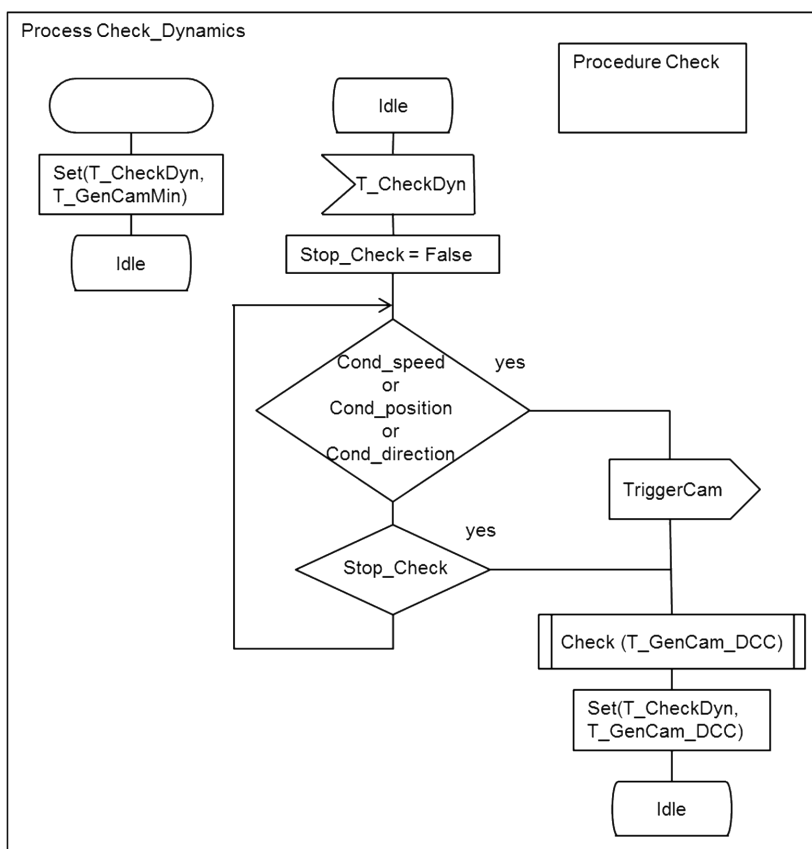
Para uma melhor visualização detalhada do algoritmo de geração de mensagens CAM, com todas as outras variáveis envolvidas, vide as Figuras 2.1 e 2.2.

Figura 2.1 – Processo de geração de CAM



Fonte: (ITS, 2019)



Figura 2.2 – Processo *Check Dynamics*

Fonte: (ITS, 2019)

O Serviço Básico de Percepção Cooperativa oferece dois serviços: Enviar e Receber CAMs. Durante a geração da CAM, o ITS-S originário compõe a mensagem e a envia para a camada de rede e transporte para que seja disseminada. CAMs podem ser disseminadas de diversas maneiras dependendo do sistema de comunicação utilizado, porém, costumam ser enviadas a todo ITS-S em um raio de alcance direto. Essas mensagens são geradas periodicamente e sua frequência é controlada pelo Serviço Básico de Percepção Cooperativa no ITS-S originário, podendo inclusive variar conforme a frequência que essa unidade muda seu *status* (posição, velocidade, canal de comunicação, etc.). Já o serviço de Receber CAMs trata de torná-las disponíveis às aplicações do ITS-S ou outras entidades nesse sistema. Entre as entidades que podem gerar informações que serão agregadas em uma CAM destacam-se o VDP (*Vehicle Data Provider*) e o POTI (*Position and Time Management*), já do lado do destinatário o LDM (*Local Dynamic Map*) pode agir como terminal. O VDP provê as informações quanto ao estado do veículo, o POTI fornece a posição do veículo e

informações de horário/tempo, já o LDM é apresentado no ETSI TR 102 863 [i.3] (ITS, 2011) e age como um banco de dados do veículo que pode ser atualizado pelas CAMs recebidas.

#### **2.2.2.2 Serviço Básico de Notificação Ambiental Descentralizada (*Decentralized Environmental Notification Basic Service*)**

O Serviço Básico de Notificação Ambiental Descentralizada atua no suporte para a aplicação de *Road Hazard Warning* (RHW), que está contido no Conjunto Básico de Aplicações definido no Comitê Técnico ETSI (ITS, 2011). Sua função é gerenciar, construir e processar Mensagens de Notificação Ambiental Descentralizada (DEN), que conterà informações relevantes sobre perigos na estrada ou condições de tráfego anormais. O Serviço Básico DEN dissemina mensagens através das camadas de rede e transporte do ITS-S.

Um ITS, ao detectar um evento, pode gerar uma DEN Nova, sendo denominado portanto ITS originário. Além desse tipo de DEN, existem também a DEN de Atualização (utilizada para atualizar o status de certo evento), DEN de Cancelamento (quando um ITS informa que dado evento já foi encerrado e deixou de existir e deve ser gerada pelo ITS originário do dito evento) e a DEN de Negação (quando um ITS diferente do originário percebe o encerramento de certo evento).

Toda DEN carrega consigo informações de um evento, que será caracterizado pelo tipo do evento, sua posição, tempo de detecção e tempo de duração, atributos esses que poderão ser mutáveis através do tempo.

Um caso de uso desse Serviço Básico se dá em situações onde um veículo de emergência (ambulância, viatura, etc.) se aproxima do veículo. Nesse caso, a aplicação RHS deverá solicitar ao Serviço Básico DEN a geração de uma DENM nova com uma área de relevância definida conforme a trajetória do veículo de emergência em questão (INTELLIGENT..., 2013).

#### **2.2.2.3 Serviço Básico de Percepção Coletiva (*Collective Perception Basic Service*)**

Uma Mensagem de Percepção Coletiva (CPM) pretende disseminar a outras estações de um ITS informações relevantes em relação ao ambiente ao seu redor, baseado especificamente em sensores de percepção, diferente de DENs que podem obter informações de outros sistemas internos do ITS. Em

comparação, as CAMs geram e disseminam mensagens referentes ao estado da própria ITS-S enquanto CPMs trabalham com informações referentes ao ambiente em torno da estação (e não de seu próprio estado).

Em algumas situações pode ser relevante, porém, não utilizar em uma CPM apenas informações de sensores, mas também informações obtidas de CAMs recebidas, dado que os veículos em torno de um ITS-S também fazem parte de seu ambiente. Um exemplo claro desse tipo de agregação de informação é uma situação de intersecção de vias, onde um ITS-S fixo próximo a via pode periodicamente enviar CPMs agregando CAMs recebidas, proporcionando uma percepção ampliada aos ITS-Ss próximos que poderão ter ciência de veículos se aproximando de uma direção oposta à sua.

Quanto à forma de disseminação de CPMs, de forma geral, propõe-se que uma estação ITS capaz de gerar CPMs **deve** fazê-lo periodicamente quando detectar um objeto com nível suficiente de confiança ou, caso não haja objetos detectados, para informar que aquele ITS consegue gerar esse tipo de mensagem. Além disso, as regras de emissão de CPM determinadas pela ETSI estabelecem um limite de tempo mínimo  $T_{GenCpm}$  entre CPMs, sendo  $100ms \leq T_{GenCpm} \leq 1.000$  ms. A emissão de CPMs também considera os mesmos eventos citados para emissão de CAMs, porém, no caso das CPMs, esses eventos são observados quanto aos veículos em torno do veículo-ego, ou seja, conforme a mudança nos parâmetros cinéticos dos outros veículos. Para uma descrição completa do algoritmo de emissão de CPMs, bem como todas as outras variáveis envolvidas no processo, vide Figuras 2.3 e 2.4.

Figura 2.3 – Processo de Geração de CPM

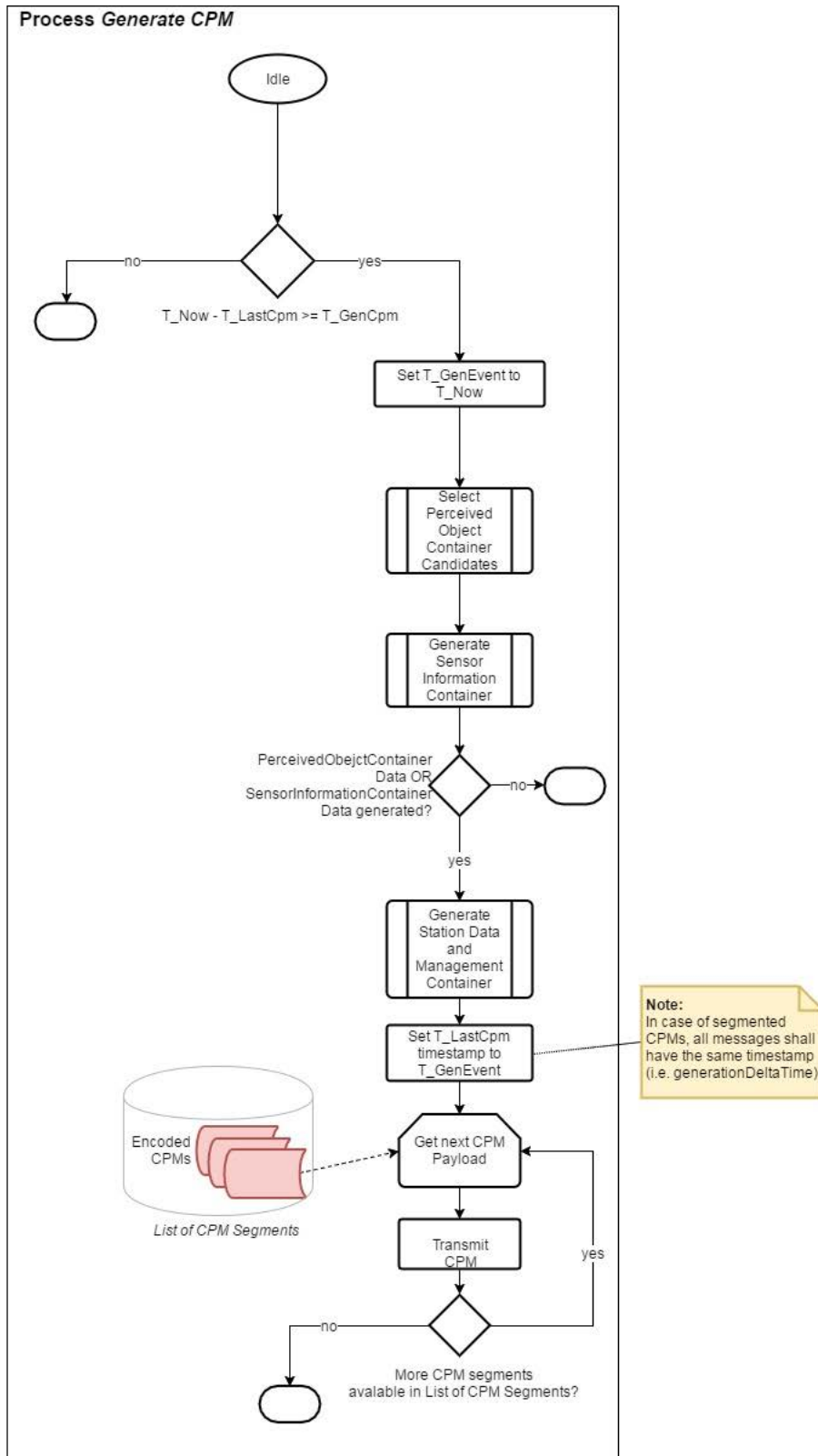
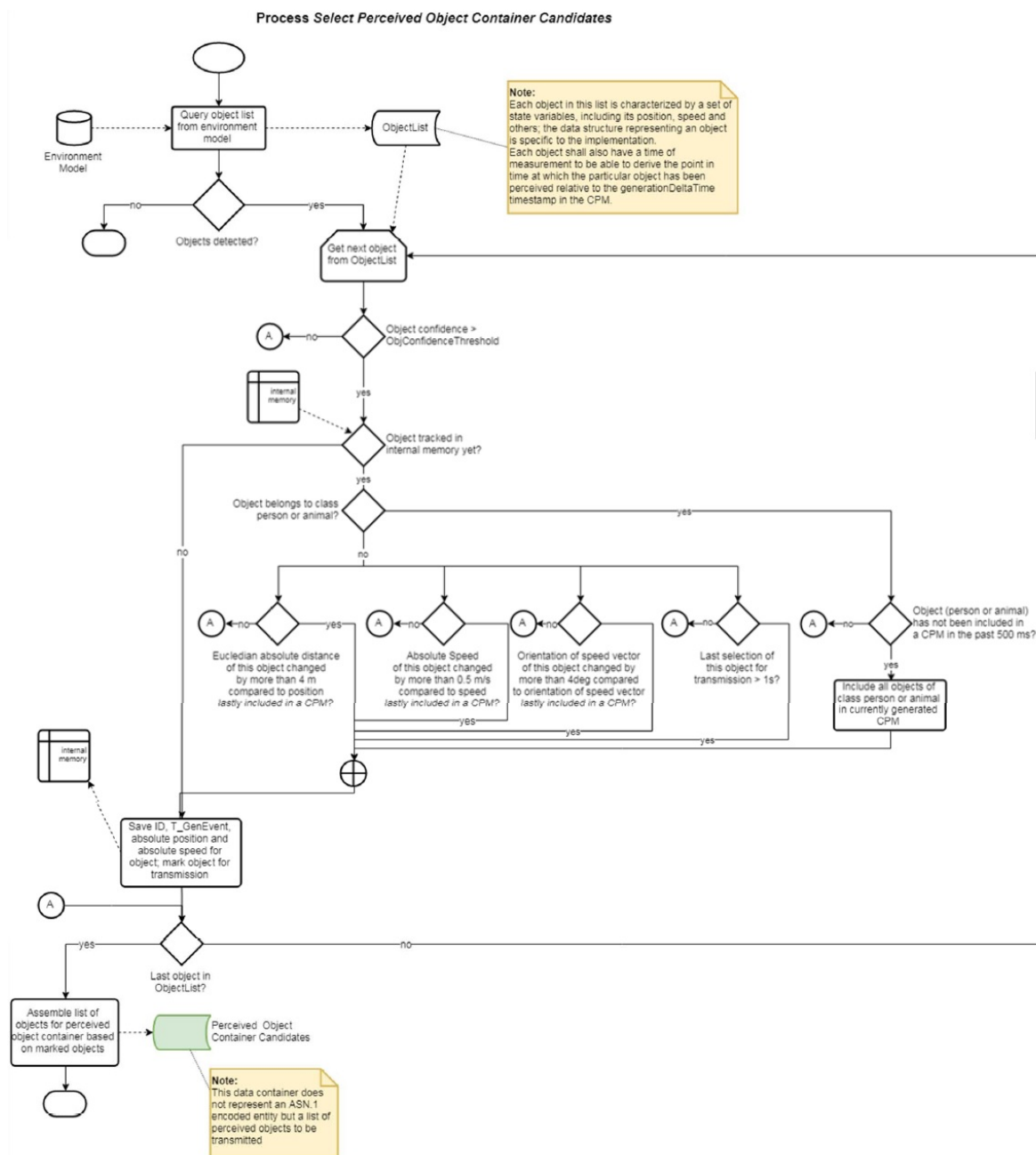


Figura 2.4 – Processo de Seleção de Objetos Percebidos



Fonte: (ITS, 2019).

### 2.2.3 Trabalhos Existentes em Disseminação de Informações

No trabalho de (LYAMIN et al., 2018) encontra-se a análise de resultados obtidos em simulação onde são propostos dois diferentes cenários, utilizando as regras de emissão de CAMs conforme citado na seção 2.2.2.1. Estes cenários são:

1. Pelotão: O cenário propõe uma série de veículos semi-autônomos seguindo um veículo líder dirigido manualmente por um humano. Nesse método os veículos semi-autônomos têm suas velocidades automaticamente ajustadas conforme o veículo líder muito embora as direções desses veículos ainda sejam controladas por um humano. A sincronicidade entre os veículos envolvidos é alcançada através da implementação do Serviço Básico de Percepção Cooperativa, com emissões periódicas de CAMs.
2. Engarrafamento: Nesse cenário propõe-se um conjunto de veículos trafegando por uma via sem nenhuma coordenação. Os veículos se aproximam de um semáforo que alterna para luz vermelha, desacelerando até pararem completamente. Os veículos então aguardam a luz se tornar verde novamente e voltam a acelerar.

Através da análise dos resultados desses cenários simulados fica identificado um fenômeno descrito como *geração sincronizada de CAMs*, onde os veículos participantes acabam gerando mensagens redundantes em um mesmo momento no tempo, potencialmente gerando uma grande quantidade de pacotes na rede, causando uma sobrecarga que poderá levar a atrasos nas mensagens e até perda de pacotes.

É mostrado então que esse fenômeno é inerente ao movimento dos veículos em ambos os cenários, ou seja, um grupo de veículos em movimento desacelerando gradualmente por conta de alguma perturbação em seu trajeto e, após isso, acelerando novamente até retomar sua velocidade normal. Na imagem ve-se os veículos ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , etc.) posicionados em uma linha do tempo, conforme o momento de emissão da mensagem e como a cada momento de redução de velocidade (exibido como diferentes linhas na figura) os veículos se tornam cada vez mais sincronizados. Considerando que veículos verificam mudanças em seus parâmetros de acordo com um certo período de amostragem (chamado de  $\Delta$  no trabalho, ou  $T\_CheckCamGen$  pelo padrão ETSI). Fica evidenciado, através da análise feita de diversos parâmetros que influenciam a emissão dessas mensagens, que o aumento desse período reduz consideravelmente o efeito descrito e, com

um  $\Delta$  grande o suficiente, a inserção de um atraso aleatório na emissão das mensagens dos veículos, pode mitigar completamente a sincronização em questão.

Vale notar que, nesse trabalho, todos os veículos envolvidos emitem apenas CAMs, não sendo capazes de emitir CPMs e, por consequência, não tendo acesso ao processo de agregação de CAMs em CPMs. Abaixo, outro trabalho que aborda a emissão de CPMs, suas regras de emissão e possíveis formas de ganho de eficiência.

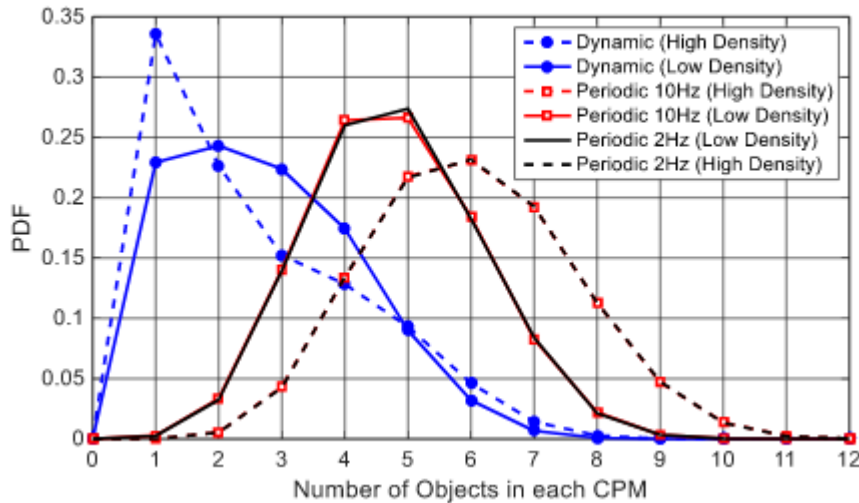
No trabalho de (THANDAVARAYAN; SEPULCRE; GOZALVEZ, 2019) vê-se a comparação analítica entre diferentes regras de emissão de CPMs em diversos cenários. Os cenários analisados são dinâmicos ou periódicos, sendo o primeiro formado por regras que consideram informações dos veículos envolvidos para controlar a emissão das mensagens e o segundo com emissões de mensagens periódicas, considerando apenas o tempo passado desde a última mensagem, sendo considerado um período de 10Hz para um cenário e 2Hz para outro. Além disso, cada cenário pode contar com uma alta ou baixa densidade de veículos, totalizando seis diferentes cenários, combinando o fato dinâmico/periódico com as diferentes densidades.

Através desse método é constatado que regras periódicas de geração de CPMs aumentam o tamanho (quantidade de objetos) incluídos em uma mesma CPM (como visto na Figura 2.5), o que não ocorre com as regras dinâmicas, dadas que tais regras não consideram **todos** os objetos detectados, apenas aqueles que se encaixam nos eventos descritos. O trabalho faz essa análise através do parâmetro PDF (*probability density function*) ou função de densidade de probabilidade, que expressa a probabilidade de uma mensagem incluir cada quantidade de objetos (conforme figura 2.5). Fica claro pelo gráfico que os métodos dinâmicos, em ambas as densidades, tem maiores probabilidades de gerar CPMs com um pequeno número de objetos comparado aos outros cenários.

Quanto à densidade do trânsito para as diferentes regras, nota-se que, apesar de ser natural que o tamanho da mensagem cresça com o maior número de veículos no cenário, esse fator não impacta tão fortemente os cenários com regras dinâmicas, isso é observado graças ao fato de que, em um cenário de alta densidade de veículos, esses alteram suas informações cinéticas menos frequentemente, se enquadrando menos frequentemente nos parâmetros determinados.

Esse estudo conclui portanto que as regras citadas como dinâmicas são, de forma geral, mais eficientes para ambos os cenários propostos (de maior ou menor densidade). Apesar de oferecer grande discernimento dos funcionamentos internos do serviço de percepção coletiva e os impactos dos diferentes parâmetros

Figura 2.5 – Função de Densidade de Probabilidade do número de objetos incluídos em cada CPM com regras dinâmicas e periódicas



Fonte: (THANDAVARAYAN; SEPULCRE; GOZALVEZ, 2019)

na emissão de CPMs, esse estudo também não aborda as relações entre CPMs e CAMs previstas pelo padrão ETSI, tampouco os impactos dessas relações na eficiência do sistema como um todo.

Diferente dos anteriores, nesse terceiro trabalho considerado (GARLICHES; KAYA; WOLF, 2020) propõe-se a utilização do método de agregação de CAMs dentro de CPMs, com a intenção de ganhar eficiência em uma VANET. O estudo propõe a utilização de uma RSU (*roadside unit*) em uma interseção de vias, essa RSU recebe CAMs dos veículos próximos, agrega essas CAMs em uma única CPM e transmite essa CPM de volta para os veículos, reduzindo portanto a quantidade de mensagens à serem emitidas. Dentre as informações que compõe uma CPM há o POC (*perceived object container*) que contém dados sobre os objetos percebidos pelo veículo emissor da mensagem (incluindo outros veículos). Esse recipiente tem um formato bastante similar ao HFVC (*High Frequency Vehicle Container*) existente em CAMs, possibilitando portanto que as informações recebidas de outros veículos por meio de CAMs sejam agregadas em uma CPM.

Além disso, as regras de emissão para CPMs são bastante similares àquelas para emissão de CAMs, uma CPM deve, por exemplo, incluir informações sobre um veículo que se moveu mais de 4 metros desde à última emissão e esse veículo também deverá emitir uma CAM ao se deslocar mais de 4 metros. Graças à essa similaridade, é proposto que as CPMs geradas pela RSU citada sejam transmitidas em intervalos fixos de tempo, proporcionando melhor controle de carga do canal e evitando verificações redundantes. O trabalho



propõe, para fins de comparação, dois métodos de transmissão: *Relay* que envolve a transmissão imediata de cada CAM recebida e *CPM* que agrega todas as CAMs recebidas em um intervalo de tempo numa única CPM e só então a transmite.

Esse sistema é então testado para cenários com diferentes índices de "penetração de mercado", ou seja, considerando diferentes índices de veículos emissores de mensagens dentre o total de veículos. Conclui-se, no estudo apresentado, que a agregação de mensagens permite uma grande melhora (em relação aos cenários comparativos), sobretudo em casos com maior penetração de mercado, permitindo que a mesma informação que seria distribuída via uma grande quantidade de mensagens (causando inclusive perda de pacotes na rede) seja agora transmitida de maneira eficiente e sem perdas para a mesma quantidade de veículos.



### 3 INTEGRAÇÃO DE CAMS E CPMS COMO FORMA DE REDUZIR A QUANTIDADE DE MENSAGENS TRAFEGADAS

#### 3.1 Integração de CAMs e CPMS

Neste capítulo propõe-se então a utilização de um método de agregação similar ao visto no trabalho de (GARLICHES; KAYA; WOLF, 2020) (no capítulo anterior), porém com a utilização de uma CPM para agregar informação de uma CAM dentro de um mesmo veículo, potencialmente suprimindo a emissão dessa CAM e reduzindo a quantidade de mensagens emitidas na rede. Essa proposta será discutida em maiores detalhes a seguir.

##### 3.1.1 Proposta de Análise

Propõe-se neste trabalho que seja adicionado um atraso  $\Delta = a + \delta$  (sendo  $a$  constante e  $\delta$  uma variável aleatória uniformemente distribuída), a ser utilizado no momento da emissão de uma CAM da seguinte maneira:

1.
  - (a) O veículo percebe um dos eventos dinâmicos para emissão de CAM (de acordo com regras padrão para emissão de CAMs);
  - (b) O veículo aguarda  $\Delta$  ms antes de emitir essa CAM;
  - (c) Caso esse mesmo veículo emita uma CPM nesse intervalo (de acordo com as regras padrão de emissão de CPMS), o veículo adiciona as informações da CAM atrasada nessa CPM e descarta a CAM em questão;
  - (d) Caso não haja emissão de CPM no intervalo a CAM é transmitida normalmente.
2.
  - (a) O veículo atinge o tempo máximo para emissão de CAM e CPM de 1.000ms;
  - (b) Inclui a CAM a ser emitida na CPM, suprimindo a CAM;
  - (c) A CPM é emitida normalmente, sem utilização de atraso.

O parâmetro  $\delta$  é dado como uma variável aleatória pois o método se baseia no intervalo de tempo entre um veículo com  $\Delta$  pequeno emitir uma mensagem e um outro, com  $\Delta$  maior, que irá receber essa mensagem durante o tempo de espera.

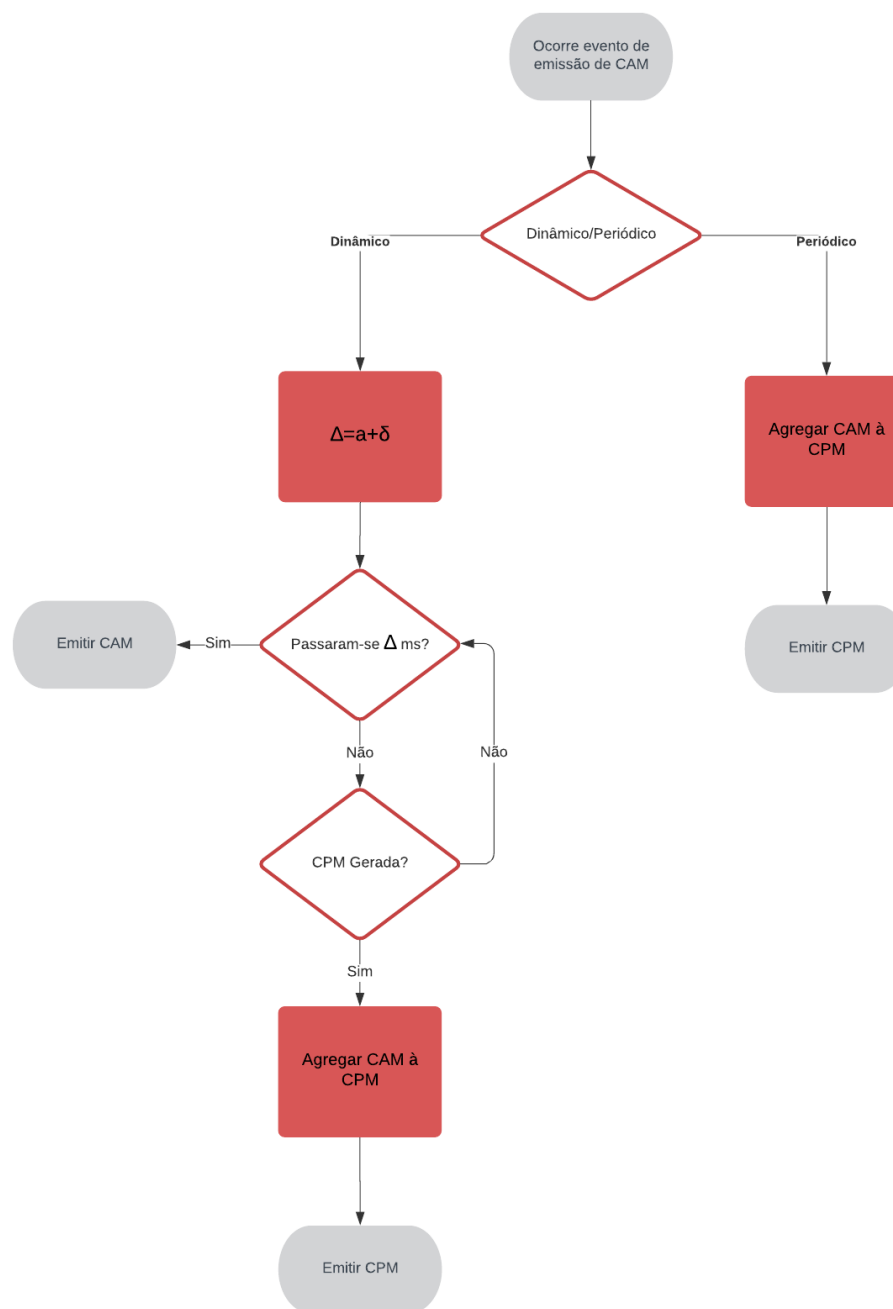
O parâmetro  $a$  é uma constante para que possa haver algum controle sobre  $\Delta$  por parte do sistema. Esse valor deve ser adequado conforme o caso a ser aplicado. Um ponto a ser considerado é que um valor muito pequeno de  $a$  diminuirá a janela de tempo que cada veículo terá para perceber a emissão de uma CPM e executar a agregação proposta, potencialmente diminuindo o impacto positivo do método. Por outro lado, pode ser desejável reduzir esses atrasos que estão sendo adicionados à rede. De outra forma, um  $a$  muito grande pode aumentar o atraso gerado a ponto de influenciar em uma possível reação humana à uma informação (o que não é desejável).

Com os valores propostos, esperam-se valores de atraso da forma  $2ms \leq \Delta \leq 6ms$ .

Nota-se que os limites máximo e mínimo de intervalo para emissão de CAMs ainda serão observados, mantendo os padrões ETSI para emissão periódica de mensagens, ou seja, quando nenhum dos eventos dinâmicos é disparado, as regras de emissão com tempo máximo ainda serão aplicadas, sem acréscimo do atraso descrito. Em outras palavras, o algoritmo irá esperar até  $1.000ms - \Delta$  para emitir uma CAM. Se esse tempo for alcançado sabe-se que ambas as mensagens (CAM e CPM) serão agregadas (conforme item 2 do método) dado que o tempo máximo de ambas terá sido atingido.

Pode-se ver uma versão em forma de fluxograma que ilustra o algoritmo, em alto nível, do método proposto, na Figura 3.1.

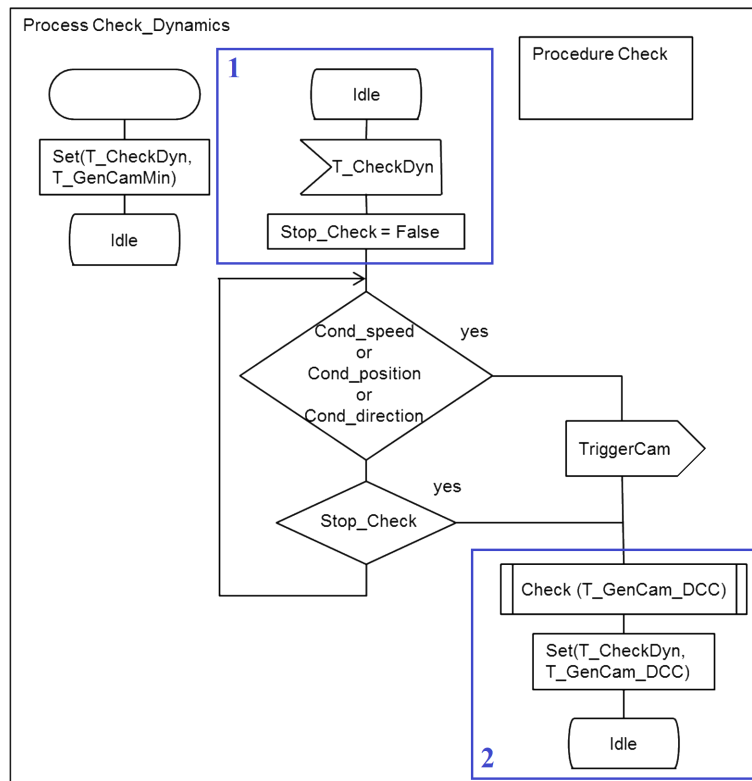
Figura 3.1 – Fluxograma do Algoritmo da Proposta



Fonte: Própria

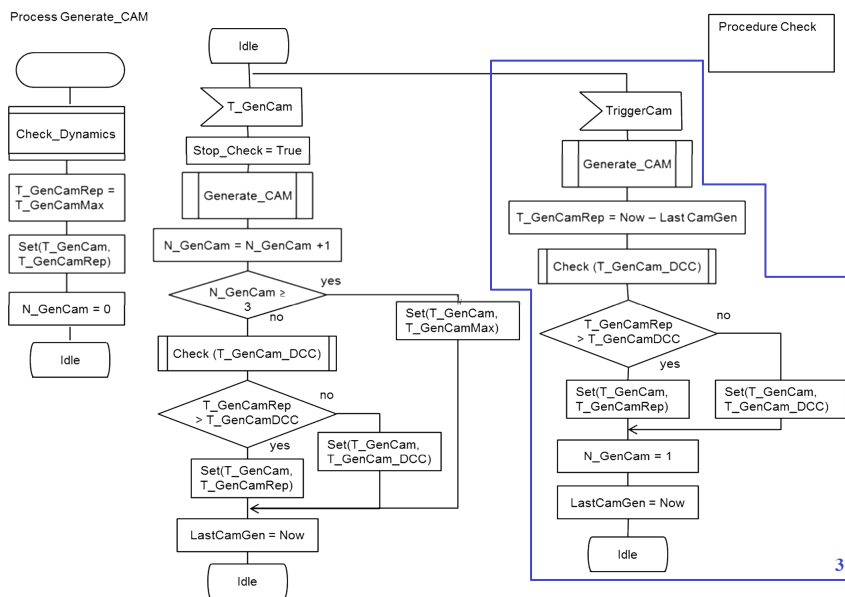
Além disso, com a representação em fluxograma do método proposto, é possível visualizar onde esse processo se dá em relação ao algoritmo padrão de emissão de CAMs. Nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 observam-se as marcações numeradas que representam blocos do fluxograma original (para melhor visualização do modelo) que são utilizados na versão unificada do processo.

Figura 3.2 – Processo *Check Dynamics* (Adaptado)



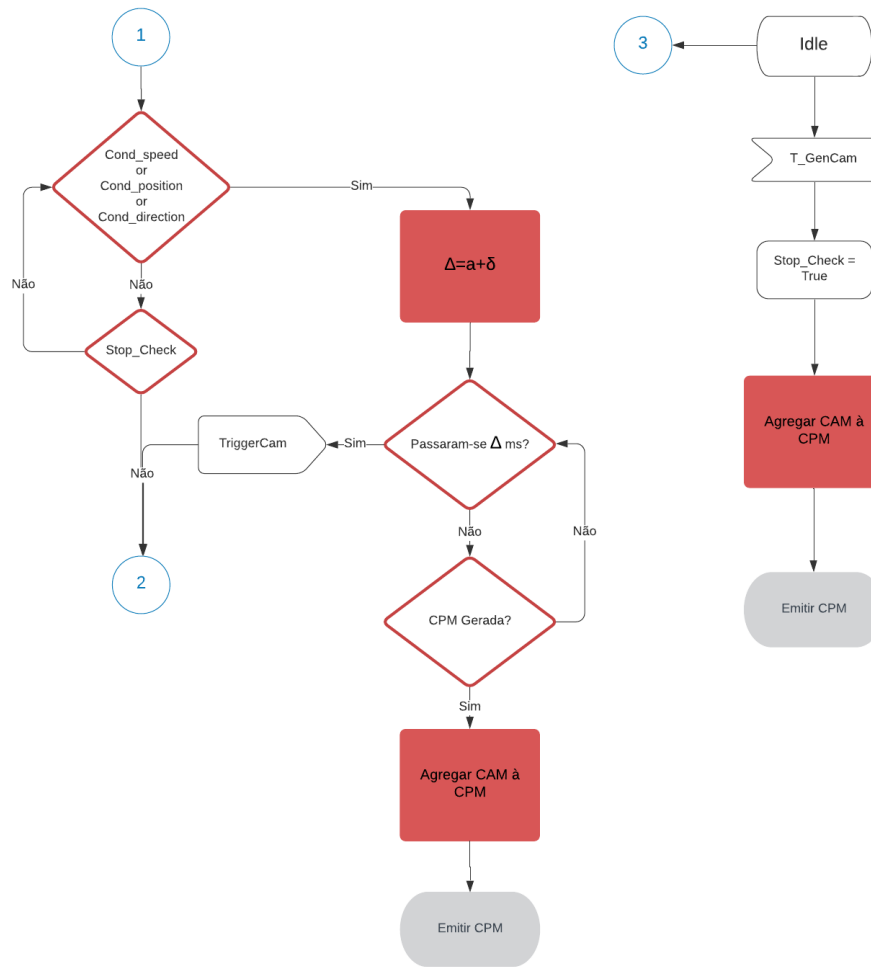
Fonte: Adaptado de (ITS, 2019)

Figura 3.3 – Processo de emissão de CAM (Adaptado)



Fonte: Adaptado de (ITS, 2019)

Figura 3.4 – Fluxograma do Algoritmo da Proposta (Adaptado)



Fonte: Própria

A interação entre as regras de emissão de CAMs e CPMs aqui se mostrará de grande relevância pois em um cenário com veículos em uma única pista, a velocidade de todos esses tende a ser, aproximadamente, a mesma de forma que a regra que prevê uma emissão de CAM quando o veículo se desloca 4m desde a última CAM emitida tende a ser obedecida por todos os veículos simultaneamente. Tal fato pode gerar uma grande quantidade de mensagens em um mesmo momento, similar ao fenômeno observado em (GARLICHES; KAYA; WOLF, 2020). Com a alteração proposta, porém, o que se espera é que a primeira CAM gerada por um dos veículos, ao ser recebida por um outro, será suficiente para gerar uma CPM (graças à regra de emissão de CPM que ocorre quando um veículo observado se move mais de 4m) o que, suprimiria



a emissão da CAM do veículo receptor. Esse efeito deve ser propagado aos outros veículos que recebam a CPM emitida num intervalo menor do que  $\Delta$ , o que pode ser suficiente para melhorar a eficiência da rede, em relação a quantidade de mensagens emitidas por período de tempo.

Abaixo averigua-se os impactos desta proposta de forma mais profunda, comparando estes impactos com cenários-base a fim de obter melhor entendimento sobre estas interações.

### 3.1.2 Análise da solução proposta

Para avaliar os efeitos da proposta iremos avaliar dois cenários, um com a pista livre para tráfego e outro em situação de engarrafamento, em duas configurações distintas, uma servirá de base para avaliarmos a quantidade de CAMs emitidas conforme as regras padrão de emissão e na outra é aplicado o método proposto.

Além disso, os parâmetros descritos no método proposto ( $\delta$  e  $a$ ) são definidos aqui da seguinte forma: Um intervalo de  $\delta$  entre  $1ms$  e  $5ms$  e, para fins de análise, propõe-se também um valor de  $a = 1ms$ . Vale ressaltar que esses valores representam apenas um exemplo para que seja possível padronizar os cenários para análise e não representam necessariamente valores ótimos para os parâmetros.

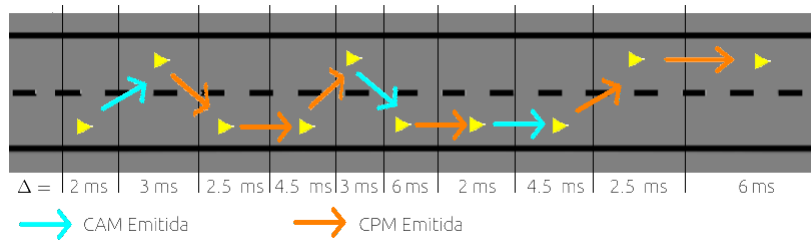
#### Cenário um - Pista livre

O primeiro cenário será composto por uma via de mão única, com  $n = 10$  veículos capazes de emitir CAMs, implementadas conforme padrão ETSI. Esses veículos trafegam à velocidade de  $v = 90km/h$  ( $25m/s$ ). Além disso, será considerado um período de  $t = 10$  segundos onde os veículos se manterão dessa forma.

Na configuração padrão, é considerado o padrão ETSI para CAMs, sem nenhuma alteração. Dessa forma, a cada  $4m$  de deslocamento, cada um dos veículos irá emitir uma CAM, o que irá ocorrer a cada  $0,16$  segundos, ou de outra forma, são emitidas, em média,  $6,25$  mensagens por segundo por veículo, totalizando  $62,5$  mensagens por segundo ao todo e  $625$  mensagens terão sido emitidas ao fim dos  $10$  segundos. Nota-se aqui que mesmo que alguns (ou todos) os veículos sejam capazes de emitir também CPMs, isso não teria impacto na quantidade de CAMs emitidas.

Já na configuração com o método proposto aplicado, onde são aproveitadas as emissões de CPM para reduzir a quantidade de CAMs, a análise se dará de outra forma. Na Figura 3.5 ve-se um exemplo de

Figura 3.5 – Exemplo de Cenário



Fonte: Própria

uma possível situação no cenário em questão em um momento onde, após terem se deslocado  $4m$  os veículos se preparam para emitir uma CAM e, conforme o proposto, calculam um atraso  $\Delta$ , visto na figura. Nesse exemplo, os veículos com menor atraso ( $\Delta = 2$  ms) emitem suas CAMs (já que não receberam nenhuma mensagem durante o intervalo). Os veículos que recebem essas CAMs em seguida suprimem suas próprias CAMs e emitem uma CPM (dado que perceberam que um veículo se deslocou pelo menos  $4m$ ). Por sua vez, os veículos que recebem essas CPMs durante o período de atraso também irão suprimir suas próprias CAMs, substituindo-as por CPMs, pelo mesmo motivo. A exceção a esses casos é o veículo com  $\Delta = 3$  ms que, no exemplo dado, não recebeu nenhuma mensagem durante seu período de atraso (um pacote pode ter sido perdido, ou a mensagem enviada para esse veículo não chegou no intervalo de atraso) e, portanto, emitiu uma CAM normalmente.

Com esse exemplo específico fica possível discernir, três grupos de veículos no momento de emissão de uma mensagem, aqueles com o menor valor de  $\Delta$ , aqueles com  $\Delta$  grande o suficiente para ter tempo de receber uma mensagem e suprimir a CAM que seria gerada e, por último, aqueles veículos com  $\Delta$  pequeno o suficiente para terem a oportunidade de receber uma CAM no período, porém não o fazem e emitem uma CAM *antes* de receber quaisquer mensagens. Portanto, o ganho de eficiência do método, em quantidade de CAMs emitidas, se dá nos veículos pertencentes ao segundo grupo citado (aquele cujos veículos receberam mensagens antes do tempo de expiração do atraso e suprimiram suas próprias CAMs).

Dado que a variável aleatória  $\delta$  é distribuída uniformemente, a probabilidade de que vários veículos componham o primeiro grupo (gerem o mesmo atraso e emitam ao mesmo tempo, a primeira mensagem) é baixa, sendo mais provável que apenas um veículo faça parte desse grupo. Por outro lado, a quantidade de veículos no terceiro grupo depende fortemente de quanto tempo cada um dos veículos especificamente demorará para receber uma mensagem (e esse valor comparado com o  $\Delta$  gerado na ocasião),

apesar dessa variável estar além do escopo deste trabalho (pois depende da análise de outros fatores como as características físicas dos sistemas de transmissão de dados de cada um dos veículos envolvidos), é possível ajustar o valor de  $a$  no cálculo de  $\Delta$  de acordo com o sistema concreto a ser implementado em um cenário prático (esse ajuste representa inclusive tópico de interesse para futuros trabalhos, conforme é abordado no próximo capítulo), buscando com isso minimizar o evento que caracteriza os veículos do terceiro grupo e, por consequência, maximizar a eficiência do método proposto.

Dessa forma, fica claro um cenário ideal (na análise proposta) onde, dos dez veículos envolvidos, em um momento onde por padrão todos emitiriam CAMs, apenas um deles irá de fato emití-la. Sendo esse caso ideal repetido durante todas as emissões durante o período proposto de 10 segundos, o veículo em questão iria emitir 6,25 mensagens por segundo (nota-se que não necessariamente o veículo emissor deverá ser o mesmo em todas as ocasiões de emissão, basta que, dentre os dez veículos, apenas um emita CAM por vez), bem como no cenário padrão, porém, nesse caso, nenhum dos outros veículos o faria, o que totalizaria 62,5 mensagens ao longo do período analisado, dez vezes menos do que as 625 mensagens estimadas no cenário base.

Pode-se argumentar porém, que mesmo com a otimização da variável  $a$  ainda hajam veículos que, por outros motivos não previstos, não recebam uma mensagem no período  $\Delta$  estimado. Propõe-se portanto, um caso médio, onde dos dez veículos, a cada emissão de mensagens, um desses é o primeiro a emitir e mais quatro outros não recebem mensagens e acabam por emitir uma CAM normalmente (novamente, não é necessário assumir que os mesmos veículos cumpram estes papéis durante todo o período, apenas a quantidade de veículos em cada grupo deve se manter constante). Nesse caso, tem-se 5 veículos emitindo mensagens, totalizando 31,25 mensagens por segundo, 312,5 mensagens ao final do tempo analisado, figurando um ganho estimado de 50% na quantidade de CAMs emitidas.

### **Cenário dois - Engarrafamento**

Para o segundo cenário, propõe-se também um conjunto de  $n = 10$  veículos durante  $t = 10$  segundos, porém, nesse cenário os veículos se encontram em situação de engarrafamento, passando a maior parte do tempo, parados ou se movendo muito lentamente. Nessa situação os eventos esperados para emissão dinâmica de CAMs são raramente alcançados e, portanto, o efeito descrito no primeiro cenário é de pouco impacto. Porém, com a presença do item 2 do método proposto, que prevê a agregação de mensagens quando

o veículo alcança o intervalo máximo esperado. Nota-se que, segundo o padrão ETSI, veículos que emitem CAMs ou CPMs devem fazê-lo à cada, no máximo, 1 s. Nesse cenário, aproximadamente a cada 1 s, cada veículo emitirá duas mensagens, uma CAM e uma CPM.

No caso base, com as regras padrão, com 10 veículos, onde cada um emitirá uma CAM e uma CPM por segundo, durante 10 segundos, totalizando 100 mensagens CAM e 100 CPMs geradas no intervalo de análise. Já com o método proposto, se for observado de fato a sincronicidade entre os intervalos para CAM e CPM, todas as CAMs geradas nessas condições seriam suprimidas e substituídas por CPMs, enquanto a quantidade de CPMs se manteria a mesma, dado que estas seriam emitidas de qualquer forma dado o intervalo de 1 s.

Esse segundo cenário, apesar de mais simples do que o primeiro (já que a supressão da mensagem ocorre apenas internamente ao veículo emissor, sem depender da comunicação com os outros veículos e sem utilizar o atraso  $\Delta$ ) ainda é bastante relevante, considerando que a situação de engarrafamento é bastante comum no mundo real. Dado esses fatores, não há possibilidade de análise para melhor caso versus caso médio, já que no primeiro cenário esta análise advinha da aleatoriedade introduzida pela variável  $\delta$ . Fica demonstrado, também nesse caso, o potencial da proposta em ganhos de eficiência no parâmetro "quantidade de CAMs emitidas".

### 3.1.3 Ganhos em quantidade de dados trafegados

Para além do parâmetro avaliado (quantidade de CAMs emitidas), apesar de não ser o foco da proposta, existe também a possibilidade de ganho em termos do tamanho das mensagens transmitidas na rede. Apesar de toda CAM suprimida ser agregada em uma CPM, no caso padrão a CAM é acompanhada por um cabeçalho que contém informações quanto à versão do protocolo, o tipo de mensagem e um identificador da ITS-S emissora, cabeçalho esse que não será necessário após a agregação dessa mensagem na CPM à ser emitida, possibilitando um pequeno ganho na quantidade de informação sendo transmitida na rede (tal ganho, apesar de pequeno, tende a aumentar com a grande quantidade de mensagens sendo trafegadas).

### 3.1.4 Discussão

Como visto, é inerente ao ambiente de uma *VANET* a grande dinamicidade e quantidade de informações. Tal dinamicidade trás grande complexidade à forma de análise proposta neste trabalho, de

forma que certos parâmetros (como a velocidade média dos veículos) foram fixados de forma estática para que fosse possível analisar o método proposto com maior clareza.

Essa alteração porém pode ter impactos profundos nos resultados percebidos e portanto sugere-se, na seção de trabalhos futuros, métodos mais complexos e detalhados para averiguação do método.

Outro parâmetro que também foi fixado, pelos mesmos motivos, é o tempo de observação (de 10 s). Não é esperado que uma simples alteração desse tempo traga grandes diferenças para a análise feita, porém, a possibilidade de tornar esse parâmetro dinâmico, variando entre diferentes casos e cenários, apresenta grande potencial para o estudo.



## **4 CONCLUSÃO**

### **4.1 Considerações finais**

As VANETs, como objeto de estudo, compõem um tema robusto, amplo e complexo, mas também trás consigo grande utilidade para sociedade, além de diversas possibilidades para o estudo acadêmico. Como visto neste trabalho, dentre os problemas envolvidos nessa área, há a grande quantidade de mensagens sendo emitidas em uma rede que, além das limitações comuns de uma rede ad hoc, ainda enfrenta obstáculos como uma topologia altamente efêmera e um ambiente dinâmico.

Este trabalho propõe então um método que busca a melhoria de eficiência na emissão de mensagens CAM nessas redes, partindo dos padrões internacionais já estabelecidos e considerando ideias de outros trabalhos acadêmicos relacionados. Os trabalhos discutidos demonstram a amplitude da área abordada, trazendo propostas que abordam diversas soluções no âmbito das formas de disseminação de informações em VANETs, algoritmos, estudos analíticos e simulações.

Uma característica do método proposto é a relação entre quantidade de mensagens enviadas na rede e problemas de colisão e perda de pacotes na rede. Com a diminuição da quantidade de pacotes sendo trafegados na rede, o risco de colisão é reduzido, porém, caso haja perda de um pacote por quaisquer motivos, a quantidade de informação perdida aumenta (pois está sendo proposto que mais informações sejam trafegadas em um mesmo pacote).

Outro possível efeito do método é aquele relacionado ao aumento do tempo entre a ocorrência de certo evento e o reconhecimento de tal evento por um veículo que pode depender de tal informação para sua operação. Acredita-se porém que o atraso inserido pela proposta não acarretará riscos no transporte. No entanto, estudos mais aprofundados devem ser feitos com o objetivo de descrever detalhadamente o impacto dessa proposta em condições críticas de tráfego ou em aplicações envolvendo veículos autônomos.

### **4.2 Contribuições do trabalho**

Foi proposta uma alteração no algoritmo padrão de emissão de mensagens e disseminação de informações em redes veiculares, com o intuito de reduzir a quantidade de mensagens trafegadas, mitigando o impacto de problemas causados por sobrecarga de informações nesse tipo de rede.

A análise desse método mostrou que há potencial de redução relevante na quantidade de CAMs emitidas no cenário proposto, tanto em situações ideais, quanto em casos médios, aumentando a eficiência dos sistemas envolvidos e a viabilidade do desenvolvimento de tais tecnologias em ambientes práticos.

### 4.3 Trabalhos futuros

O método proposto no trabalho, apesar de exibir potencial de resultados positivos no problema abordado, foi analisado frente a um cenário abstrato, menos complexo do que a cenários reais. Trabalhos posteriores podem ser produzidos com a intenção de testar mais amplamente o método, em cenários analíticos ou até mesmo em simulações em *frameworks* adequados para tal.

Quanto ao valor  $a$  utilizado no cálculo de  $\Delta$ , um bom valor máximo pode ser encontrado analisando-se o tempo de reação de um condutor que pode utilizar certa informação de um ITS para tomar decisões rápidas no trânsito, sendo esse tempo de reação dependente do sistema sendo implementado (além das diferenças entre um condutor humano ou um carro autônomo).

Outro ponto que pode ser explorado é o intervalo para cálculo da variável aleatória  $\delta$ . Propõe-se novamente a consideração de fatores externos, intrínsecos à implementação do sistema, além de considerações quanto à velocidade de transmissão na rede. Tanto os limites para  $\delta$  quanto para a constante  $a$  podem também existir de forma não totalmente dinâmica, mas sim, como parâmetros no sistema que podem se adaptar a informações recebidas no ambiente, a fim de se adequarem à uma maior quantidade de cenários e situações, aumentando a eficiência do método.

Suprimir mensagens, conforme citado na subseção 4.1, causa o efeito de reduzir o número de colisões. Porém, com a adição de um atraso no tempo de emissão das mensagens, podem-se gerar problemas em cenários críticos de trânsito. Um possível trabalho futuro poderia ser baseado no *trade-off* entre a melhora causada pela emissão e recepção de mensagens (e por consequência no mapeamento do ambiente envolvido) e a piora causada pelo atraso em questão.



## REFERÊNCIAS

- BOLDRINI, C. et al. Context- and social-aware middleware for opportunistic networks. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 33, p. 525–541, 9 2010. ISSN 10848045.
- BREU, J.; MENTH, M. An improved relevance estimation function for cooperative awareness messages in vanets. In: SIKORA, A. et al. (Ed.). **Communication Technologies for Vehicles**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 43–56. ISBN 978-3-319-06644-8.
- DARAGHMI, Y. A.; YI, C. W.; STOJMENOVIC, I. Forwarding methods in data dissemination and routing protocols for vehicular ad hoc networks. **IEEE Network**, v. 27, p. 74–79, 11 2013. ISSN 08908044.
- GARLICHES, K.; KAYA, C.; WOLF, L. Leveraging the collective perception service for cam information aggregation at intersections. In: . [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. v. 2020-November. ISBN 9781728194844. ISSN 15502252.
- INTELLIGENT Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements specification. 2013.
- ITS. **TR 102 863 - V1.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map (LDM); Rationale for and guidance on standardization**. 2011.
- ITS. **TR 103 562 - V2.1.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2**. 2019. Disponível em: <<https://portal.etsi.org/TB/ETSIDeliverableStatus.aspx>>.
- JIANG, D.; DELGROSSI, L. Ieee 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In: **VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 2036–2040.
- LEE, K. C.; LEE, U.; GERLA, M. Geo-opportunistic routing for vehicular networks [topics in automotive networking]. **IEEE Communications Magazine**, v. 48, n. 5, p. 164–170, 2010.
- LYAMIN, N. et al. Cooperative awareness in vanets: On etsi en 302 637-2 performance. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 67, p. 17–28, 1 2018. ISSN 00189545.
- ROS, F. et al. Mobile ad hoc routing in the context of vehicular networks. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–48. ISBN 1420085883.
- SICHITIU, M. L. **IEEE COMMUNICATIONS**. 2008. Disponível em: <[www.comsoc.org/pubs/surveys](http://www.comsoc.org/pubs/surveys)>.
- SIKORA, A. et al. **Communication Technologies for Vehicles**. 2014.
- STANDARD, E. **EN 302 637-3 - V1.2.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service**. 2014. Disponível em: <[http://portal.etsi.org/chaircor/ETSI\\_support.asp](http://portal.etsi.org/chaircor/ETSI_support.asp)>.

SUN, M.-T. et al. Gps-based message broadcast for adaptive inter-vehicle communications. In: **Vehicular Technology Conference Fall 2000. IEEE VTS Fall VTC2000. 52nd Vehicular Technology Conference (Cat. No.00CH37152)**. [S.l.: s.n.], 2000. v. 6, p. 2685–2692 vol.6.

THANDAVARAYAN, G.; SEPULCRE, M.; GOZALVEZ, J. **Analysis of Message Generation Rules for Collective Perception in Connected and Automated Driving; Analysis of Message Generation Rules for Collective Perception in Connected and Automated Driving**. [S.l.: s.n.], 2019. ISBN 9781728105604.

TOH, C. K. **Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, Prentice Hall, 2001**. [S.l.: s.n.], 2001. ISBN 9780132442046.

TSENG, Y.-T. et al. A vehicle-density-based forwarding scheme for emergency message broadcasts in vanets. In: **The 7th IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (IEEE MASS 2010)**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 703–708.

UNION, C. of E. **Directive 2010/40/EU of the European Parliament**. 2010.  
<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0040>>.,.