

Seleção de retransmissores de mensagens de alerta de eventos críticos em VANETs

Santiago Cardoso

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada - PPGCAP
Joinville, Brasil

<https://orcid.org/0009-0000-1721-2366>

Adriano Fiorese

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
Joinville, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-1140-0002>

Abstract—Adverse situations that occur on public traffic roads, such as traffic accidents, severe traffic jams, among others, are considered critical traffic events. Such events occur relatively frequently and need to be dealt with quickly by public authorities to maintain the proper functioning of cities and highways. The main challenges for efficient handling lie in the random nature of the event and the speed and accuracy of its notification to the authorities. Thus, the large number of vehicles on the roads, together with their communication and monitoring capabilities, allow the detection and alert of the occurrence of such events. However, transmitting such detections to the destinations can be difficult due to the not entirely reliable nature of those involved, especially when there is a need for retransmission of this message between the detecting vehicle and the destination. In this sense, choosing the most suitable relay vehicle, among the possible relays, becomes a necessity. In this sense, this work proposes the development and use of a Vehicle Credibility Factor (FCV) in Ad Hoc Vehicular Networks (VANETs), generated through the use of several criteria that represent traffic behavior, as input parameters for the AHP multicriteria decision-making method. The result of the method is the FCV, which is used to determine, through ranking, the most reliable vehicles to transmit sensitive information for alerting critical traffic events.

Keywords—VANETs; relay; events.

Resumo—Situações adversas que ocorrem nas vias de trânsito públicas, sejam acidentes de trânsito, congestionamentos severos, entre outros, são considerados como eventos críticos de trânsito. Tais eventos ocorrem com relativa frequência e precisam ser tratados rapidamente pelas autoridades públicas para manter o funcionamento adequado das cidades e rodovias. Os principais desafios para um tratamento eficiente residem na natureza aleatória do evento e na rapidez e precisão de sua notificação às autoridades. Dessa maneira, a grande quantidade de veículos nas vias de trânsito, juntamente com suas capacidades de comunicação e monitoramento, permitem a detecção e alerta da ocorrência de tais eventos. Contudo, transmitir tais detecções até os destinos pode ser difícil, dada a natureza não inteiramente confiável dos envolvidos, especialmente quando entre o veículo detector e o destino encontra-se a necessidade de retransmissões dessa mensagem. Nesse sentido, a escolha do mais adequado veículo retransmissor, dentre os possíveis retransmissores, torna-se uma necessidade. Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento e a utilização de um Fator de Credibilidade Veicular (FCV) nas

Redes Veiculares Ad Hoc (VANETs), gerado por meio da utilização de diversos critérios, que representem comportamento no trânsito, como parâmetros de entrada para o método de tomada de decisão multicritério AHP. O resultado do método é o FCV, que é utilizado para, por meio de ranqueamento, determinar os veículos mais confiáveis para realizarem a transmissão das informações sensíveis de alerta de evento crítico de trânsito.

Palavras-chave—VANETs; retransmissão; eventos.

I. INTRODUÇÃO

A mobilidade, especialmente nas grandes cidades e rodovias tem se tornado cada vez mais dificultada com a grande quantidade de veículos trafegando em suas vias [1]. Assim, diariamente diversos acidentes de trânsito, congestionamentos, obras, entre outros acontecimentos levam a interdição de vias ou a possíveis riscos à vida dos motoristas e pedestres. Dessa maneira, esses eventos precisam ser informados de forma rápida e segura às autoridades envolvidas no gerenciamento do tráfego e aos demais usuários das vias, para que decisões bem informadas possam ser tomadas sobre como lidar com esses eventos. Assim, soluções tecnológicas se fazem necessárias para a detecção desses eventos e comunicação dos mesmos. Uma delas se concretiza na formação espontânea de redes de comunicação entre os veículos que trafegam nessas vias. Tais redes são conhecidas por Redes Veiculares Ad Hoc, ou do inglês *Vehicular Ad Hoc Networks* (VANETs).

As VANETs representam redes móveis nas quais são estabelecidas comunicações que facilitam a troca de informações entre os veículos e infraestruturas rodoviárias, mostrando-se uma solução promissora para o monitoramento e alerta de eventos críticos de trânsito que influenciam trajetos e tempo de deslocamento dos usuários nas vias de trânsito. Para tanto, a utilização da clusterização de veículos [2] e as estratégias de comunicação V2V (vehicle-to-vehicle) e V2I (vehicle-to-infrastructure) são identificadas como soluções eficazes [3].

Dada a estruturação e a grande quantidade de veículos em uma VANET, as informações precisam ser transmitidas de forma fluída e eficiente. Assim, precisa-se buscar uma maneira



de fazer com que os veículos participantes atuem como transmissores e retransmissores para disseminarem todos os dados armazenados e eventos ocorridos. Entretanto, nem sempre a retransmissão será necessária, nos casos em que o veículo que detecta o evento consegue enviar diretamente a mensagem ao destino final, a retransmissão não se faz necessária. Já em situações onde a comunicação direta não é viável, a mensagem precisa ser retransmitida por outro veículo.

Portanto, a credibilidade dos veículos envolvidos no processo pode ser uma característica determinante para que a mensagem relativa a detecção de um evento crítico de fato chegue ao seu destino. Em outras palavras, a escolha de veículos com credibilidade para retransmitirem a mensagem pode ser crucial para que a mesma seja de fato retransmitida. Portanto, a avaliação da credibilidade, através de um cálculo que leva em conta diversos fatores, de cada veículo dentro dessas redes deve ser calculada precisamente para que seja possível buscar o veículo mais adequado, na cadeia de transmissão de informações, para a transmissão (comunicação) desses eventos.

Desta forma, este trabalho propõe um método de seleção de veículos retransmissores de mensagens de alerta para eventos críticos de trânsito em redes VANETs baseado na credibilidade dos veículos envolvidos. Para tanto, apresenta a implementação e o cálculo de um Fator de Credibilidade Veicular (FCV) em uma VANET. Esse trabalho estende o FCV proposto em [4] por meio da incorporação de novos critérios para a modelagem de credibilidade e utilização do método Analytical Hierarchy Process (AHP) para tomada de decisões.

Nesse sentido, este trabalho busca responder a pergunta de pesquisa referente a como o FCV influencia na seleção de veículos retransmissores em simulações de redes VANETs e quais são os impactos observados na eficiência da comunicação e da rede. O objetivo principal do trabalho é de desenvolver e validar um método que utiliza o FCV, calculado a através de diversos critérios, para selecionar os veículos mais eficientes para a disseminação de informações cruciais nas redes veiculares.

Sendo assim, o restante do trabalho está estruturado da seguinte maneira. A Seção II discute os trabalhos relacionados. A Seção III apresenta o referencial teórico do trabalho. A Seção IV descreve o fator de credibilidade veicular proposto a partir dos valores de critérios de credibilidade, e sua utilização junto ao método AHP de forma a computar uma pontuação para cada veículo envolvido na retransmissão da mensagem de alerta. A Seção V, apresenta o cenário onde foi simulada a utilização da proposta em uma rede VANET que leva em conta dados de mobilidade reais da cidade de Luxemburgo. Por fim, a Seção VI conclui o trabalho e apresenta as direções futuras visando melhorias no trabalho.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção discutem-se alguns trabalhos relacionados ao tema da seleção eficiente e confiável de veículos em uma Rede Veicular Ad Hoc.

O trabalho de [3] aborda a disseminação de informações em VANETs. Ele propõe a utilização de unidades de coleta de informação ao longo das vias e a formação de *clusters* de veículos, pois dessa forma, é possível atingir uma baixa latência na transmissão de informações com os veículos agrupados, bem como pode expandir a conectividade da VANET. Entretanto, uma limitação deste trabalho é a dependência das unidades de coleta de informação, que podem apresentar pontos únicos de falha e sobrecarga de rede. A abordagem proposta visa resolver isso utilizando um sistema mais distribuído e resiliente para coleta e disseminação de dados.

O trabalho de [2] aborda o MINUET, um sistema de detecção e disseminação de eventos urbanos em VANETs. O MINUET permite o monitoramento e distribuição desses eventos a partir da criação de *clusters* cooperativos de veículos que comunicam-se uns com os outros. Com os resultados da simulação apresentada, foi possível comprovar que o MINUET garante maior disponibilidade de informações e é capaz de enviar mais pacotes de dados de monitoramento. Entretanto, o sistema pode enfrentar problemas de escalabilidade e congestionamento de rede em cenários com alta densidade de veículos. A abordagem adotada por este trabalho, mesmo que focada principalmente na seleção eficiente de veículos retransmissores, pode indiretamente melhorar a eficiência da comunicação por conta de reduzir o número de retransmissores necessários para transmitir uma mensagem de alerta, potencialmente melhorando a comunicação em cenários mais densos quanto aos problemas de congestionamento da rede.

O artigo de [5] apresenta o SOCIABLE, que é um sistema para a disseminação de eventos críticos urbanos em um ambiente Social Internet of Vehicles (SIoV). Através dessas comunicações entre os veículos com base em critérios sociais, as informações desses eventos críticos são distribuídas para entidades externas. O artigo comparou o desempenho do SOCIABLE com o MINUET [2]. Assim, tornou-se possível comprovar que o SOCIABLE transmitia menos pacotes e conseguia ter um *delay* bastante inferior a outras opções de sistemas de disseminação de eventos. Entretanto, uma desvantagem do SOCIABLE é que ele pode não garantir a cobertura total da área em certos cenários, por conta da sua dependência de critérios sociais que podem não ser uniformemente distribuídos. A proposta deste trabalho aborda esse problema ao introduzir novos critérios, como os comportamentais (relacionados à credibilidade veicular), que buscam uma disseminação de mensagens de alerta mais consistente e abrangente, podendo

assim potencialmente resultar em uma disseminação de mensagens mais eficiente, mesmo em cenários de alta mobilidade e densidade.

Assim, a abordagem proposta neste trabalho busca oferecer uma alternativa que possa solucionar alguns dos problemas observados nos trabalhos relacionados. Embora o foco seja na seleção de veículos retransmissores, a proposta visa contribuir para um sistema que tenta ser mais eficiente para a seleção e comunicação de veículos em uma Rede Veicular Ad Hoc. Para isso, a seleção dos veículos retransmissores é baseada em uma combinação de critérios, incluindo a distância até a estação base, a velocidade média dos veículos nas vias, o tráfego em horários de pico, a quilometragem percorrida, o número de multas do veículos, entre outros fatores comportamentais e técnicos.

III. REFERENCIAL TEÓRICO

As redes ad hoc são redes descentralizadas, e portanto, canonicamente, não possuem um ponto de acesso centralizado em que todas as comunicações convergem e são encaminhadas para destinos específicos. Desta forma, nas redes ad hoc todos os seus dispositivos operam como roteadores que encaminham de uma maneira cooperativa e colaborativa todas as informações que vêm de vizinhos próximos, de forma que os dispositivos podem se comunicar entre si permitindo uma maior flexibilidade na rede.

As redes veiculares ad hoc, também conhecidas por VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks), são um tipo mais específico de rede ad hoc voltada para a comunicação entre veículos V2V (Vehicle-to-Vehicle) e veículos com infraestrutura rodoviária V2I (Vehicle-to-Infrastructure). Nessas redes, o objetivo final é poder aumentar a segurança no trânsito, melhorar a eficiência dos transportes, melhorar a comunicação dos veículos, e oferecer novos serviços, como navegação avançada e gestão de tráfego em tempo real.

Como resultado, as VANETs enfrentam alguns desafios únicos, como a alta mobilidade dos veículos, que resulta em frequentes mudanças na topologia da rede, bem como a necessidade de baixa latência para a troca rápida de informações entre os nós. Assim, as VANETs se tornam um campo de pesquisa importante, por conta desses diversos fatores, para o desenvolvimento de tecnologias para sistemas de transporte inteligente.

Existem dois tipos principais de comunicação nas VANETs:

- **Vehicle-to-Vehicle (V2V):** Na comunicação V2V, os veículos pertencentes da rede transmitem as informações relacionadas ao tráfego para outros diferentes veículos próximos, sem a necessidade de alguma infraestrutura central. Nesse tipo de comunicação a criação de um ambiente de direção cooperativa é altamente beneficiado,

pois os veículos utilizam as informações recebidas de outros veículos para se informarem de acidentes, condições adversas de tráfego, se protegerem de freadas bruscas de outros condutores, entre outras situações em tempo real. Dessa forma, o V2V é um elemento crucial para as redes VANETs pois permitem com que os veículos ajustem suas rotas e comportamentos com base nas informações recebidas de outros veículos.

- **Vehicle-to-Infrastructure (V2I):** Na comunicação V2I, os veículos pertencentes a rede transmitem as informações relacionadas ao tráfego diretamente para a infraestrutura rodoviária, como semáforos, sensores e câmeras. Nesse tipo de comunicação é buscada a melhora da gestão do tráfego, a eficiência dos sistemas de transporte, entre outras melhoras que visam permitir com que os veículos recebam informações críticas para lidar com elas em tempo real. Dessa forma, a infraestrutura inteligente na comunicação V2I é um elemento crucial para as redes VANETs, podendo coletar dados em tempo real e informar os veículos dessas informações, permitindo uma otimização contínua das condições de tráfego.

Além disso, as VANETs são consideradas uma tecnologia fundamental para diversos campos, entre eles, o de sistemas de transporte inteligente, que necessitam constantemente da operação de VANETs por conta da troca de informações em tempo real para realizarem tomadas de decisões eficientes e precisas de forma rápida. Nesse caso, além das VANETs, as infraestruturas inteligentes, equipadas com sensores e câmeras, podem coletar e compartilhar dados sobre o tráfego e condições das vias, complementando as informações obtidas pelos veículos.

De acordo com a complexidade das VANETs, e a diversidade de fatores que influenciam seu funcionamento, a escolha do veículo retransmissor ideal envolve a análise de múltiplos critérios, como a velocidade do veículo, sua localização, entre outros. Para lidar com essa multiplicidade de fatores, o uso de métodos de tomada de decisão multicritério, como o Analytic Hierarchy Process (AHP), é justificado.

O Método de Processo Analítico Hierárquico (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*) é uma ferramenta amplamente utilizada para a tomada de decisões multicritério, sendo muito eficaz para resolver problemas que envolvem diferentes critérios e alternativas (soluções diferentes para o problema). O AHP decompõe e divide o problema em diversos fatores que proporcionam o estabelecimento de relações para realizar a sintetização do problema [6], facilitando a comparação e a priorização dos elementos.

Para realizar tal decomposição do problema ocorrem três etapas de pensamento analítico [6]. A primeira etapa do AHP

consiste na construção de uma hierarquia, na qual o objetivo principal do problema é posicionado no topo, seguido pelos critérios e subcritérios em diferentes níveis.

Na segunda etapa do AHP é feita a definição de prioridades, onde os critérios são comparados entre si, de forma pareada, utilizando uma escala de 1 a 9, conforme proposta por Saaty (1991). Nesse processo, o valor 1 indica que dois critérios têm a mesma importância, enquanto o valor 9 reflete uma importância muito maior de um critério em relação ao outro. A partir dessa comparação, é possível obter os pesos relativos de cada critério.

Finalmente, a última etapa consiste em avaliar a consistência das comparações realizadas. O índice de consistência (CI) [6] deve ser menor que 0,1; caso contrário, as comparações precisam ser ajustadas até que o valor esteja dentro do limite aceitável.

Dessa maneira, com o auxílio dos pesos resultantes da análise pareada é calculada a pontuação das alternativas. Em um exemplo prático de redes VANETs, o AHP pode ser utilizado para auxiliar na seleção do veículo retransmissor de mensagens de monitoramento com base em diversos critérios especificados durante o cálculo. Assim, com base nas comparações dos veículos e da atribuição dos pesos, o AHP possibilita uma escolha otimizada e embasada.

IV. MODELAGEM DO FCV

Para o desenvolvimento do método de seleção de veículos retransmissores em redes VANETs assume-se que os veículos são dotados de elementos (ex: câmeras, sensores, etc...) que de forma integrada e automática detectam tais eventos e os informam por meio de mensagens enviadas pela rede VANET.

Assim, ao detectar um evento crítico de trânsito, o veículo encontrando-se fora do alcance de transmissão de uma estação base de beira de estrada (RSU), por exemplo, ou do destino da mensagem deverá transmitir a mesma para um veículo específico que retransmitirá a mesma, e assim sucessivamente, até o destino final. Dessa forma, e nesses casos, para a entrega das mensagens de eventos críticos é necessário definir veículo(s) retransmissor(es), ou seja, veículo(s) que atua(m) como transmissor(es) intermediário(s) das mensagens, caso o alcance de transmissão do veículo detector do evento não atinja a estação base ou o veículo que se pretende atingir na rede VANET. Assim, quanto melhor escolhido for esse retransmissor, melhor será o desempenho de transmissão da mensagem. Portanto, o fator de credibilidade veicular (FCV) tenta modelar da melhor forma possível a seleção desse automóvel com base em todas as circunstâncias de credibilidade demonstradas durante o trânsito do mesmo.

Um FCV inicial foi abordado em trabalho anterior [4], no qual, alguns critérios são elencados para a modelagem e consequentemente o cálculo do FCV. São eles: se o motorista

respeita as velocidades máximas das vias (VM), se trafega em horários de pico (HP), o tempo dirigido nos últimos 30 dias (TD), a quilometragem percorrida nos últimos 30 dias (KM), o tempo de habilitação do motorista (TC), o histórico de multas (M), o ano de fabricação do veículo (AV) e a idade do condutor relacionada com a potência do seu automóvel (I). Além dos critérios abordados em [4], para realizar uma avaliação mais precisa e criteriosa do próximo retransmissor, neste trabalho são propostos e implementados a velocidade média comparada aos outros veículos dentro do *cluster* na VANET em que o veículo se encontra (VC), a qualidade dos pneus (QP), a eficiência do combustível (EC), a distância da estação base (D) e a quantidade de veículos vizinhos próximos (N).

Assim, tem-se que o critério de número de vizinhos (N) é essencial pois influencia na conectividade e na formação dos *clusters* [7]. O critério de distância (D) com a estação base é o mais importante da simulação, pois ele lida diretamente com a latência e a qualidade de comunicação, de forma que, os veículos mais próximos da estação base tendem a apresentar melhor sinal e atrasos menores de comunicação [3]. Por conta desses fatores, ao critério (D) são atribuídos valores superiores na escala de Saaty da matriz de julgamento do método AHP. A velocidade média (VM) garante que o veículo esteja conduzindo com as velocidades das vias urbanas ou rodovias e que ele se aproxime de forma rápida a estação base [7], é um critério que possui maior importância que outros menos críticos para a comunicação na rede. O tráfego em horário de pico (HP) leva em conta o período do dia em que o veículo está sendo conduzido, indicando horários de maior risco como os períodos noturnos [8]. O tempo total dirigido (TD) pode indicar o cansaço de um motorista [9], tornando-o um critério importante para o FCV. A quilometragem total percorrida (KM) reflete o desgaste e a confiabilidade do veículo, sendo assim importante para a manutenção da rede e a segurança do tráfego. O tempo de carteira do motorista (TC) indica a experiência e potencial confiabilidade [10], assim esse critério é relevante para a formação de *clusters* seguros. O número de multas (M) pode indicar o comportamento do motorista e se ele segue as leis de trânsito, assim é possível verificar a segurança do veículo e do envio da mensagem, mas tem um peso menor do que critérios mais técnicos. O ano do veículo (AV) possibilita identificar se é um veículo mais novo possuindo melhores tecnologias, assim sendo relevante para a eficiência dos *clusters* e para o envio das mensagens de monitoramento. A relação idade x potência (I) representa a segurança de direção dos condutores com base em suas faixas etárias [10]. A velocidade média do *cluster* (VC) impacta diretamente o envio das mensagens [3] e é um dos critérios mais importantes dentro do FCV. Assim, ele possui um dos maiores pesos comparados aos outros critérios.

A qualidade do pneu (QP) é um critério de segurança crucial para um veículo, pois afeta diretamente o próprio automóvel e os demais ao seu redor. Por fim, a eficiência do combustível (EC) é um critério de sustentabilidade e confiabilidade, sendo importante para verificar a permanência de veículos na rede.

A obtenção dos valores desses critérios em muitos casos é dinâmica e reflete a utilização e comportamento no trânsito do veículo e condutor. Nesse caso, como os valores para os critérios: VM , HP , TD , KM , TC , M , AV e I são obtidos está definido no trabalho [4].

O critério VC , representado pela Equação 1, é obtido diretamente da simulação realizada, portanto advém dos dados de velocidade de cada veículo sendo simulado pertencentes à base de dados reais de deslocamento de veículos da cidade de Luxemburgo. Esse critério avalia o termo velocidade média do *cluster* (VC) do FCV. Ele resulta da proximidade da velocidade atual do veículo em análise com a média de velocidade de todos os veículos vizinhos. Essa informação é obtida através de comunicação V2V (Veículo-a-Veículo) e, em regiões equipadas com tecnologia adequada, também por meio de Infraestrutura Inteligente, ou seja, da infraestrutura de estrada equipada com sensores e câmeras que pode coletar dados de tráfego, incluindo velocidades de veículos, e que consegue transmitir essa informação para os veículos em tempo real.

$$VC = \begin{cases} 1, & \text{se } V_v = V_{mcv} \text{ ou } (V_v \geq V_{mcv} \text{ e } V_v < V_{mcv} * 2) \\ 0,5, & \text{se } V_v \geq \frac{V_{mcv}}{2} \text{ e } V_v < V_{mcv} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Na Equação 1, o valor VC é atribuído pela comparação da velocidade média do *cluster* com a do veículo atual. Assim, V_{mcv} é a velocidade média do *cluster* de veículos e V_v é a velocidade média do veículo atual. Dessa maneira, por exemplo, caso o veículo esteja trafegando em velocidades menores que seus demais vizinhos ele receberá uma pontuação reduzida e caso esteja em uma velocidade um pouco superior ele receberá uma pontuação maior por ter a habilidade de chegar mais rapidamente perto de uma estação base. Porém, se sua velocidade for muito superior ele receberá uma pontuação nula por ser um veículo que está deixando o *cluster* ao afastar-se muito rapidamente.

A Equação 2 demonstra o termo de qualidade dos pneus (QP_i). Ela resulta de um fator externo, que refere-se ao nível de desgaste atual de cada pneu.

$$QP_i = \begin{cases} 1, & \text{se } P \geq 1.6 \text{ e } P \leq 3.0, \\ 0.75, & \text{se } P > 3.0 \text{ e } P \leq 4.0, \\ 0, & \text{se } P < 1.6 \text{ ou } P > 4.0. \end{cases} \quad (2)$$

Na Equação 2, o valor QP_i é dependente da profundidade do sulco P que representa o desgaste de um pneu. É atribuído um peso relativo ao critério conforme a variação de profundidade dos sulcos.

Para avaliar a qualidade dos pneus do veículo como um todo, que pode variar em número de pneus dependendo do tipo de veículo (como motos, carros ou caminhões), adotou-se na Equação 3 que o QP final do veículo, será definido como o menor valor QP_i entre todos os pneus.

$$QP = \min(QP_1, QP_2, \dots, QP_n) \quad (3)$$

Dessa maneira, o QP final utilizado para o cálculo do FCV utiliza uma avaliação da qualidade geral do conjunto de pneus de um veículo com base no pneu em pior estado.

A Equação 4 demonstra o termo de eficiência de utilização do combustível (EC) do FCV.

$$EC = \begin{cases} 1, & \text{se eficiência é A,} \\ 0.8, & \text{se eficiência é B,} \\ 0.7, & \text{se eficiência é C,} \\ 0.4, & \text{se eficiência é D,} \\ 0.2, & \text{se eficiência é E.} \end{cases} \quad (4)$$

Na Equação 4, o valor EC é definido com base na categoria da etiqueta de eficiência energética do veículo, a qual apresenta os valores A, B, C, D e E. Esses valores são extraídos da tabela do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) [11], na qual, estão armazenadas e comparadas as eficiências energéticas de muitos veículos comercializados no Brasil. Assim, se na coluna de "Comparação Absoluta Geral" da tabela PBEV, o valor da etiqueta for A significa que o veículo possui uma ótima eficiência energética. Por outro lado, se o veículo for categoria E ele possui uma péssima eficiência energética. Como, geralmente, os veículos que se enquadram na categoria A contam com maiores tecnologias, inclusive sendo automóveis que são mais econômicos, podem atuar mais precisamente como retransmissores, já que, teoricamente, conseguem trafegar em vias por mais tempo sem ter que parar para reabastecer o automóvel. Nesse sentido, recebem valores mais altos critério.

O Código 1 refere-se ao termo D do FCV, sendo a distância do veículo até a estação base. Nele, o valor D é expresso pela variável (closestBasestationDistance). O cálculo da distância até a estação base leva em conta a comparação das distâncias de cada um dos automóveis do *cluster* com a estação base mais próxima. Um veículo que está mais próximo da estação base apresenta uma capacidade maior de se tornar retransmissor, enquanto um que está distante, apresenta uma capacidade menor.

Listing 1. Código Fonte para o Fator Distância (D) do Veículo em Relação a Estação Base

```

1 for (closeNeighbor = closeNeighbors.begin
  (); closeNeighbor != closeNeighbors.end
  (); closeNeighbor++) {
2   m_mobilityModel = m_node->GetObject<
    MobilityModel>();
3   closestBasestationDistance =
    MinuetConfig::FLOOR_SIZE_X +
    MinuetConfig::FLOOR_SIZE_Y;
4
5   for (basestationPos = MinuetConfig::
    GetBasestationPosIterator();
    basestationPos != MinuetConfig::
    GetBasestationPosEnd();
    basestationPos++) {
6     basestationDistance =
        CalculateDistance(*basestationPos
        , closeNeighbor->GetPosition());
7     closestBasestationDistance = min(
        closestBasestationDistance,
        basestationDistance);
8     closestBasestationPosition = *
        basestationPos;
9   }
10 }

```

O critério de número de vizinhos próximos do veículo N é extraído diretamente a partir do nó atual durante a simulação. Dessa maneira, quanto maior for o valor retornado, maior será o número de veículos próximos ao veículo em análise. Assim, pode-se indicar se o automóvel está em uma área com mais vizinhos ao seu redor, o qual aumenta a probabilidade da mensagem de monitoramento ser transmitida e chegar a estação base.

Além disso, a premissa de utilizar dados do veículo com um motorista designado e específico é baseada na necessidade de assegurar a segurança tanto da rede quanto do tráfego dos veículos. Os critérios que consideram dados do motorista, como o número de multas ou o tempo de carteira ou carta de condução, são importantes porque indicam o comportamento e a experiência do motorista, o que impacta diretamente a segurança na rede de comunicação. Além disso, dados específicos do veículo, como o ano de fabricação e a quilometragem total percorrida, ajudam a avaliar a confiabilidade e a adequação do veículo para participar da rede, garantindo que as informações críticas possam ser transmitidas de forma eficiente e segura.

Assim, todos esses critérios têm seus respectivos pesos atribuídos utilizando a matriz de julgamento estabelecida utilizando o AHP implementado como mostrado na Tabela I.

Os valores da análise pareada dos critérios, conforme apresentados na Tabela I são empíricos e levam em conta a consistência e avaliação de importância entre os critérios. Da análise pareada resultam os pesos de cada critério, utilizados pelo método AHP, para a pontuação de cada alternativa de solução sendo avaliada (veículos), nesse caso. Para o cálculo dos pesos normalizados dos critérios, (coluna Pesos na Tabela I) é usada a Equação 5, onde o numerador $\sum_{j=0}^n a_{ij}$ representa o somatório dos elementos da i -ésima linha, e o denominador $\sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n a_{ij} \cdot n$ é o produto do somatório total dos valores de todas as colunas pelo número de critérios n . P_i é o peso normalizado para o i -ésimo critério.

$$P_i = \frac{\sum_{j=0}^n a_{ij}}{\sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n a_{ij} \cdot n} \quad (5)$$

Cada veículo dentro da rede VANET possui os critérios já mencionados. Entretanto, nem todos os veículos dentro da VANET estarão associados (próximos ou ao alcance) à ocorrência de um evento crítico. Nesse sentido, o agrupamento (*clusterização*) dos veículos é uma atitude razoável para a otimização da escolha de veículos retransmissores da mensagem de alerta do evento crítico. Dessa forma, o retransmissor é escolhido dentre aqueles que efetivamente podem receber a mensagem e retransmiti-la na direção apropriada ao destino em questão. Nesse sentido, com a utilização do módulo SOCIABLE para o método de clusterização, os veículos são agrupados também por meio de critérios sociais [12]. Dentre esses critérios sociais, o SOCIABLE considera os interesses comuns entre os veículos, ou seja, aqueles que apresentam destinos semelhantes, velocidades relativas próximas com outros veículos, trajetórias similares, entre outros aspectos. Ademais, o SOCIABLE também considera algumas métricas para garantir a estabilidade dos *clusters*, por exemplo a frequência da interação entre os veículos é verificada a todo momento pois *clusters* coesos e estáveis tem menos chances de se fragmentarem com o tempo. Durante a clusterização dos veículos o SOCIABLE também ajusta dinamicamente os *clusters* já formados, permitindo a entrada de novos veículos a todo instante, além da saída de veículos já pertencentes, garantindo dinamismo na formação dessas estruturas. Dessa maneira, através da clusterização dos veículos, o SOCIABLE garante que as informações dos eventos críticos sejam rapidamente retransmitidas entre os veículos dentro do *cluster* e para outros *clusters* próximos.

V. EXPERIMENTO E RESULTADO

A avaliação do método de seleção de veículos retransmissores de alertas de eventos críticos de trânsito, baseada no fator

TABELA I
MATRIZ DE JULGAMENTO AHP

| # | N | D | VM | HP | TD | KM | TC | M | AV | I | VC | QP | EC | Pesos |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|-------|
| N | 1 | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{5}$ | 1 | 5 | 5 | 3 | $\frac{1}{3}$ | 3 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | 5 | 0.046 |
| D | 7 | 1 | 1 | 5 | 9 | 9 | 9 | 2 | 9 | 5 | 1 | 1 | 9 | 0.161 |
| VM | 5 | 1 | 1 | 3 | 5 | 5 | 7 | 1 | 7 | 3 | 1 | $\frac{1}{3}$ | 7 | 0.120 |
| HP | 1 | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | 1 | 2 | 3 | 5 | $\frac{1}{3}$ | 3 | 1 | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | 7 | 0.113 |
| TD | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{2}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | $\frac{1}{5}$ | 3 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 5 | 0.044 |
| KM | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | 3 | 1 | 3 | $\frac{1}{5}$ | 3 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | 3 | 0.027 |
| TC | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{5}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{7}$ | 1 | 0.029 |
| M | 3 | $\frac{1}{7}$ | 1 | 3 | 5 | 5 | 3 | 1 | 7 | 3 | $\frac{1}{3}$ | 1 | 5 | 0.014 |
| AV | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | 3 | $\frac{1}{7}$ | 1 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{3}$ | 3 | 0.091 |
| I | 3 | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | 1 | 3 | 3 | 5 | $\frac{1}{3}$ | 3 | 1 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | 5 | 0.019 |
| VC | 5 | 1 | 1 | 5 | 3 | 5 | 9 | 3 | 9 | 3 | 1 | 3 | 9 | 0.051 |
| QP | 3 | 1 | 3 | 5 | 3 | 3 | 7 | 1 | 3 | 5 | $\frac{1}{3}$ | 1 | 7 | 0.156 |
| EC | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | 1 | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{7}$ | 1 | 0.117 |

de credibilidade veicular, foi realizada por meio de simulação.

Para implementar o FCV, bem como o método de seleção do veículo retransmissor proposto, foi utilizada a linguagem de programação C++.

Na simulação, foi idealizado um cenário utilizando o simulador de redes NS3, uma ferramenta de código-fonte aberto amplamente utilizada em pesquisas sobre redes ad hoc. O NS3 permitiu uma simulação detalhada do cenário ideado proporcionando um ambiente realista para o estudo.

Além disso, foram integrados outros sistemas fundamentais para a simulação. Entre eles, foi utilizado o *MonitorING and Dissemination of Urban Events* (MINUET) que é um sistema de monitoramento e disseminação de eventos urbanos que é capaz de detectar eventos e monitorá-los eficientemente [2]. Ainda, também foi utilizado, como já comentado, o sistema SOCIABLE, o qual, é um sistema de disseminação de dados de eventos urbanos críticos utilizado para o agrupamento dos veículos durante as simulações [5].

Também foram utilizados o *Simulation of Urban MObility* (SUMO) e os dados do *Luxembourg SUMO Traffic* (LuST), que modelam a mobilidade urbana da cidade de Luxemburgo, proporcionando um cenário detalhado para análise. Nesse contexto, como cenário simulado, foi selecionado um pequeno trajeto na cidade de Luxemburgo, e 10 veículos para realizarem a simulação nesse percurso.

Os arquivos necessários para a simulação, como Trace-Config, TraceMobility e TraceActivity, foram extraídos das coordenadas geográficas especificadas na Tabela II, fornecendo a base para a configuração e execução do cenário simulado. Os dados X, Y, X_{min} e Y_{min}, representam os limites de longitude e latitude das coordenadas da área geográfica do cenário.

TABELA II
COORDENADAS DO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

| Eixo | Coordenadas |
|------------------|-------------|
| X | 6069.44 |
| Y | 4379.33 |
| X _{min} | 5568.87 |
| Y _{min} | 3467.69 |

Assim, foram definidos 10 nós (veículos) e o tempo de início em 0.0 segundos e o de término em 700.0 segundos, totalizando 11,6 minutos de simulação. A *basestation* (RSU na simulação) foi posicionada nas coordenadas X,Y do mapa do LuST representando o cenário simulado, visualizadas na Tabela III de forma que possibilitaria a observação do critério de proximidade com a *basestation*. Foi posicionado um evento de trânsito crítico fixo nas coordenadas X,Y e duração visualizadas na Tabela IV.

TABELA III
COORDENADAS DA *Basestation*

| Eixo | Coordenadas |
|------|-------------|
| X | 6020.30 |
| Y | 4390.08 |

TABELA IV
CONFIGURAÇÕES DO EVENTO

| Eixo | Coordenadas | Início (s) | Duração (s) |
|------|-------------|------------|-------------|
| X | 5947.46 | 90 | 600 |
| Y | 3948.65 | | |

Também foi definido um arquivo de texto, representado pela

Tabela V, que contém os dados de cada veículo dentro do cenário para serem utilizados no cálculo dos critérios, com as unidades relativas a cada critério referentes ao tempo trafegado em horário de pico diurno (HD) e noturno (HN), tempo total trafegado (TT), quilometragem total percorrida (KM), tempo de habilitação do motorista (TC), número de multas do veículo (MV), número de multas do condutor (MQ), quantidade de meses multado (MM), ano de fabricação do automóvel (AV), potência do veículo (PV), idade do motorista (IM), tipo de veículo (LP), necessários para o cálculo de diversos critérios conforme [4], bem como, qualidade do pneu (QP) e eficiência energética do veículo (EC). Os demais dados necessários à composição dos demais critérios utilizados na proposta, são obtidos diretamente do simulador, sem a necessidade de emular com esses dados as capacidades desejadas nos veículos.

Tais configurações da simulação e parâmetros definidos podem ser generalizados para diferentes cidades e outras situações, porém deve-se levar em conta a diferença final nos resultados obtidos, pois diferentes veículos e motoristas apresentam características e comportamentos distintos que podem influenciar significativamente o desempenho do sistema. Por exemplo, em cidades com tráfego mais intenso ou infraestrutura urbana variada, as condições de mobilidade podem afetar a precisão e a eficácia dos critérios usados para a escolha do retransmissor. Além disso, a diversidade de veículos, o estado de manutenção, a tecnologia embarcada, comportamento de motoristas, entre outros fatores, podem impactar a capacidade de comunicação e, consequentemente, o sucesso da transmissão de dados críticos. Assim, é crucial ajustar as configurações para refletir as condições locais e garantir que os resultados da simulação sejam precisos e relevantes para o contexto específico. Essa necessidade de ajuste demonstra que, embora os parâmetros possam ser amplamente aplicáveis, a personalização para o ambiente específico é essencial para obter resultados eficazes e confiáveis.

A Tabela VI, retirada da simulação do funcionamento da rede VANET no NS3, apresenta os valores dos critérios já normalizados para os 10 veículos presentes na simulação realizada, bem como os valores para cada critério de cada carro. Assim, é possível observar veículos/motoristas que apresentam pontuações mais baixas para alguns dos critérios, enquanto outros respeitam mais as leis de trânsito, estão mais próximos das condições ideais, entre outros fatores que fazem com que os valores para cada um dos critérios sejam maiores. Assim, possibilita-se uma visualização da aplicabilidade do FCV em cada veículo e comparação dos veículos, auxiliando na seleção mais precisa do próximo veículo retransmissor.

De acordo com a Tabela VI, é possível visualizar como no cenário simulado os valores dos critérios afetam diretamente

o valor final do FCV. Os veículos que apresentam valores zerados para o critério de velocidade (VM) podem se encontrar parados no instante de tempo em que foram obtidos os valores de critérios na simulação, podendo eles estarem estacionados, esperando em um semáforo de trânsito, ou podem estar trafegando em velocidades não condizentes com a via que eles estão operando. Assim, cada um dos fatores afeta de forma significativa na escolha do novo retransmissor, podendo ser visualizado como os veículos que possuem o menor resultado de FCV final são os que possuem maiores quantidades de critérios com valores menores. No cenário simulado, o veículo número 0 seria o atual retransmissor naquele instante de tempo da simulação por possuir um FCV maior que o dos demais veículos.

Durante a simulação também foi coletado, como exibido na Figura 1, o número de vezes que cada veículo retransmitiu mensagens de alerta de evento crítico. Essa figura apresenta o volume de mensagens retransmitidas pelos veículos no cenário simulado. A análise dos dados permite observar que diferentes veículos tiveram diferentes números de retransmissões, indicando variações nas suas participações como retransmissores. Ao final, esses valores auxiliam na compreensão da dinâmica de retransmissão das mensagens de alerta durante o período de tempo simulado, bem como das condições de evolução (velocidade, distância, etc.) do *cluster* de veículos envolvidos nas retransmissões dessas mensagens.

A Figura 1 apresenta o resultado do experimento de avaliação do número de mensagens retransmitidas pelos veículos envolvidos no cenário. Assim, na simulação realizada o veículo 6 foi o que mais retransmitiu mensagens de alerta, uma vez que foi o veículo mais vezes selecionado como retransmissor. Isso se deu por conta de ser um veículo que possuía bons valores gerais de seus critérios. Já o veículo 2 não retransmitiu nenhuma mensagem, por não atingir valores favoráveis de FCV para que fosse selecionado como um retransmissor. Dessa forma, comprova-se a influência dos fatores de credibilidade veicular no cálculo do FCV e seus impactos na escolha do veículo retransmissor.

VI. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou uma abordagem para a seleção de veículos retransmissores de mensagens de alerta de eventos críticos de trânsito. Essa abordagem assume que uma vez que um veículo detecta um evento crítico de trânsito, ele deve disseminar uma mensagem de alerta tanto para os demais veículos quanto para a infraestrutura de gerenciamento de tráfego (como estações base no contexto de um serviço IoV). Além disso, também assume que essa mensagem poderá necessitar ser retransmitida por outro veículo, caso o envio direto ao destino final não seja possível.

TABELA V
TABELA DE VALORES DOS CRITÉRIOS DOS VEÍCULOS

| Variáveis | Veículos | | | | | | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | V0 | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7 | V8 | V9 |
| hd | 5 | 20 | 18 | 26 | 3 | 22 | 12 | 4 | 30 | 8 |
| hn | 2 | 1 | 4 | 6 | 10 | 9 | 8 | 6 | 15 | 2 |
| tt | 22 | 35 | 40 | 54 | 21 | 39 | 31 | 28 | 62 | 27 |
| km | 1012 | 1645 | 1920 | 2700 | 966 | 1638 | 1333 | 1204 | 2356 | 999 |
| tc | 3 | 2 | 5 | 10 | 25 | 8 | 14 | 40 | 23 | 1 |
| mv | 0 | 0 | 6 | 4 | 5 | 8 | 3 | 8 | 7 | 0 |
| mq | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| mm | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| av | 2020 | 2016 | 2023 | 2012 | 2005 | 2002 | 2018 | 1998 | 2017 | 2018 |
| pv | 120 | 100 | 140 | 90 | 70 | 70 | 100 | 60 | 100 | 110 |
| im | 23 | 22 | 28 | 40 | 52 | 34 | 37 | 72 | 42 | 19 |
| lp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| qp | 17 | 20 | 28 | 32 | 18 | 22 | 24 | 17 | 36 | 38 |
| ec | A | B | D | E | D | B | C | E | A | C |

TABELA VI
EXEMPLO DE CÁLCULO DO FCV

| Veículos | Critérios | | | | | | | | | | | | | FCV |
|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | N | D | VM | HP | TD | KM | TC | M | AV | I | VMC | QP | EC | |
| V0 | 0.04 | 0.06 | 1.00 | 0.88 | 1.00 | 0.75 | 0.50 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.742 |
| V1 | 0.05 | 0.06 | 0.00 | 0.84 | 0.75 | 0.75 | 0.25 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 0.614 |
| V2 | 0.07 | 0.06 | 1.00 | 0.88 | 1.00 | 0.75 | 0.50 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.566 |
| V3 | 0.05 | 0.06 | 1.00 | 0.80 | 0.75 | 0.50 | 0.75 | 0.91 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 0.20 | 0.687 |
| V4 | 0.03 | 0.06 | 0.00 | 0.61 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.91 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.40 | 0.615 |
| V5 | 0.06 | 0.06 | 0.00 | 0.69 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.89 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 0.603 |
| V6 | 0.05 | 0.06 | 0.00 | 0.71 | 0.75 | 0.75 | 1.00 | 0.91 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.70 | 0.609 |
| V7 | 0.03 | 0.06 | 0.00 | 0.80 | 1.00 | 0.75 | 1.00 | 0.82 | 1.00 | 0.75 | 1.00 | 1.00 | 0.20 | 0.590 |
| V8 | 0.08 | 0.06 | 0.00 | 0.70 | 0.50 | 0.50 | 1.00 | 0.82 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 1.00 | 0.555 |
| V9 | 0.05 | 0.06 | 1.00 | 0.87 | 1.00 | 1.00 | 0.25 | 1.00 | 1.00 | 0.75 | 1.00 | 0.75 | 0.70 | 0.708 |

Nesse contexto, a abordagem proposta seleciona o veículo retransmissor baseada no conceito de credibilidade veicular, de acordo com uma modelagem envolvendo diversos critérios que representam o comportamento do veículo/condutor no trânsito urbano e rodoviário, no dia a dia.

Para tanto é proposto um fator de credibilidade veicular (FCV) que leva em consideração diversos critérios que modelam tal credibilidade no trânsito, utilizando o método de análise e tomada de decisão multicritério AHP. Os valores dos critérios são utilizados pelo método AHP para a geração do FCV que atua como pontuação para os veículos envolvidos, organizados em agrupamentos de veículos (*clusters*), durante o percurso nas vias de trânsito. Dessa forma, o veículo com a melhor pontuação do grupo (maior FCV) é escolhido como

retransmissor, repetindo-se o procedimento até a mensagem de alerta alcançar o destino final.

Simulações com dados reais de veículos organizados em uma VANET, utilizando a abordagem proposta para a seleção de veículos retransmissores, foram realizadas. Durante a simulação do cenário VANET avaliado, observou-se com clareza o impacto dos critérios propostos sobre o comportamento de cada veículo e a escolha do retransmissor final. A análise detalhada revelou como cada critério influencia diretamente a decisão sobre qual veículo deve atuar como retransmissor, destacando a eficácia do FCV em garantir a escolha mais adequada e eficiente. Através da simulação, ficou evidente que a coletânea de critérios permite uma seleção precisa do retransmissor, assegurando que a retransmissão de informações críticas seja

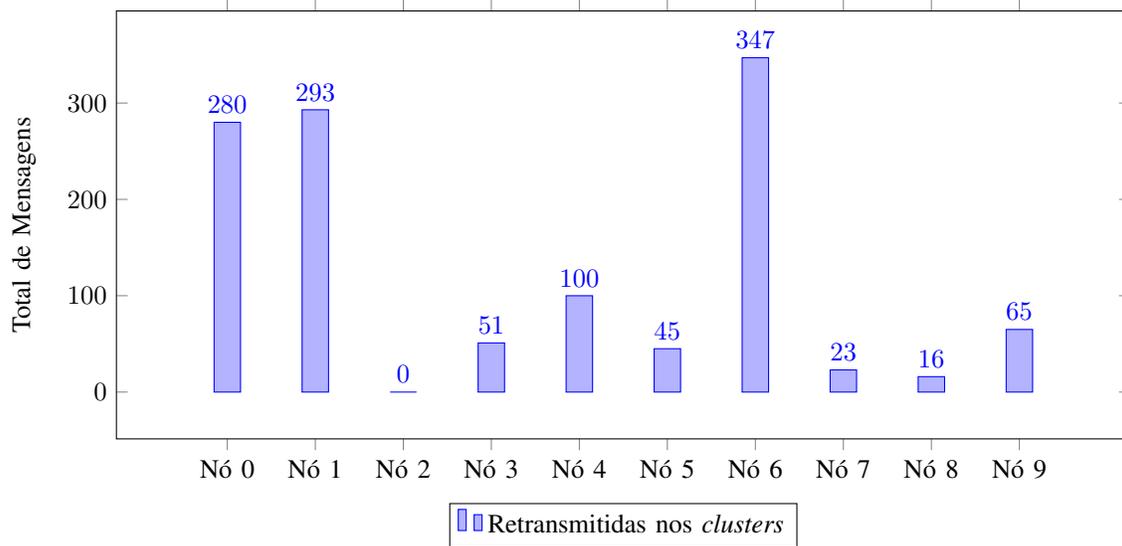


Fig. 1. Monitoramento de mensagens

realizada de forma eficiente. Além disso, o FCV demonstrou ser um fator decisivo na melhoria da comunicação entre veículos, contribuindo para uma rede mais coesa e responsiva. A capacidade do FCV de considerar múltiplos aspectos relevantes e a sua aplicação prática na simulação reforçam a sua importância como ferramenta eficaz na gestão de redes de veículos, demonstrando que seu uso pode potencialmente aumentar a segurança e a eficiência da comunicação em cenários de mobilidade urbana complexos.

Como continuidade desse trabalho, pode-se testar o desempenho do fator de credibilidade veicular por completo, comparando-o com outras formas de seleção de retransmissores. Também se pretende a inserção de outros critérios que lidem com outros fatores para a credibilidade veicular.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve o suporte financeiro da UDESC para sua divulgação e realização por meio da bolsa de Iniciação Científica PROBIC/UDESC.

REFERÊNCIAS

- [1] G. C. Oliveira and F. Wiltgen, "Uma visão da mobilidade urbana: passado, presente e futuro," *Revista Tecnologia*, vol. 41, no. 1, 2020.
- [2] E. Andrade, K. Veloso, N. Vasconcelos, A. Santos, and F. Matos, "Cooperative monitoring and dissemination of urban events supported by dynamic clustering of vehicles," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 67, p. 101244, Sep 2020.
- [3] P. Tomar, B. K. Chaurasia, and G. Tomar, "State of the art of data dissemination in vanets," *International journal of computer theory and engineering*, vol. 2, no. 6, p. 957, 2010.
- [4] A. L. F. Junior and A. Fiorese, "Persistência de dados de redes veiculares ad hoc em blockchain," in *Anais do XIX Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas*. SBC, 2022, pp. 22–28.
- [5] A. Yury, E. Andrade, M. Nogueira, A. Santos, and F. Matos, "Social-based cooperation of vehicles for data dissemination of critical urban events," in *GLOBECOM 2020 - IEEE Global Communications Conference*. IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [6] C. S. Marins, D. d. O. Souza, and M. d. S. Barros, "O uso do método de análise hierárquica (ahp) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso," *Xli Sbpq*, vol. 1, p. 49, 2009.
- [7] J. E. Andrade, K. Veloso, N. de Vasconcelos Silva, A. L. dos Santos, and F. M. Matos, "Monitoramento e disseminação cooperativa de eventos emergenciais apoiado por agrupamentos de veículos," in *Anais do XXIV Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços*. SBC, 2019, pp. 127–140.
- [8] L. S. Sá and L. R. Sampaio, "Qualidade do Sono, Estresse e Qualidade de Vida em Motoristas Profissionais," *Psicologia: Ciência e Profissão*, vol. 42, p. e236404, Nov. 2022, publisher: Conselho Federal de Psicologia.
- [9] L. S. S. Santos, C. M. d. O. V. Paim, and C. M. F. d. Santos, "A influência do sono na vida dos motoristas profissionais," Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Salvador, Bahia, Brasil, Tech. Rep. Trabalhos finais e parciais de curso: Monografias de Especialização, 2014. [Online]. Available: <https://repositorio.bahiana.edu.br:8443/jspui/handle/bahiana/587>
- [10] J. R. G. Kuniyoshi, A. Figueira, and A. P. C. Larocca, "Impactos da idade na atenção e percepção de condutores," in *Anais do 34o Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET*, vol. 100, 2020, pp. 2598–2609.
- [11] INMETRO, "Veículos Automotivos (PBE veicular)," <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular>, 2024, accessed 2024-04-02.
- [12] A. Y. D. de Medeiros, J. E. A. Júnior, A. L. dos Santos, and F. de Menezes Matos, "Cooperação de veículos baseada em características sociais para disseminação de dados de eventos críticos urbanos," in *Anais do IV Workshop de Computação Urbana*. SBC, 2020, pp. 138–151.