



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Avaliação de Protocolos IoT e Enlaces para Comunicação V2V como Suporte a Ultrapassagens Seguras em VANETs

Dissertação de Mestrado

Sandro Andrade Monteiro Menezes



São Cristóvão – Sergipe

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Sandro Andrade Monteiro Menezes

**Avaliação de Protocolos IoT e Enlaces para Comunicação V2V
como Suporte a Ultrapassagens Seguras em VANETs**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Orientador(a): Rubens de Souza Matos Júnior
Coorientador(a): José Aprígio Carneiro Neto

São Cristóvão – Sergipe

2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

M543a	<p>Menezes, Sandro Andrade Monteiro</p> <p>Avaliação de protocolo IoT e enlaces para comunicação V2V como suporte para ultrapassagens seguras em VANETs / Sandro Andrade Monteiro Menezes ; orientador Rubens de Souza Matos Júnior. - São Cristóvão, 2024.</p> <p>76 f.; il.</p> <p>Dissertação (mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.</p> <p>1. Cidades inteligentes. 2. Internet das coisas. 3. Rede de computador - Protocolos. I. Matos Júnior, Rubens de Souza orient. II. Título.</p> <p>CDU 004.73</p>
-------	--

Agradecimentos

Antes de mais nada eu agradeço a Deus, pois ele e os bons espíritos foram os impulsionadores nos momentos mais críticos de minhas pesquisas, quando eu pensava em desistir, eles me faziam continuar. Também gostaria de agradecer a meus alunos, Erick, Iara, Lucas e Igor, por toda a ajuda e ensinamento que eles me deram, sim, alunos também podem ensinar. Agradeço também ao meu filho Caio, por todo o tempo que ele dispôs em me ajudar, agradeço a minha mãe por ter me ensinado a simplicidade da vida e a lua constante, pois sem isso pesquisar seria duas vezes mais difícil. Agradeço a todos os professores que me auxiliaram nas pesquisas com suas dicas providenciais, Luiz Ótávio, Edivaldo, Cleide, Aliberte, Bruno, Gilton e Admilson. Gostaria de agradecer a secretária do PROCC, Elaine, que pessoa poderia não gostar desse ser humano? Não posso esquecer também de toda paciência, sapiência e dedicação de meu orientador, professor Doutor Rubens e de meu coorientador o professor Doutor Aprígio. Eles me ensinaram muito sobre pesquisa e podem ter certeza que retribuirei esse conhecimento recebido.

A felicidade do homem que conhece aumenta a beleza do mundo e torna mais ensolarado tudo o que há; o conhecimento põe sua beleza não só em torno das coisas, mas, com o tempo, nas coisas; — que a humanidade vindoura dê testemunho dessa afirmação!
(Nietzsche)

Resumo

Baseando-se nos conceitos de cidades inteligentes, *Internet of Things - IoT* e nos recursos que as redes de sensores podem agregar, este trabalho tem como base a avaliação de protocolos e padrões que podem ser empregados em redes veiculares *Vehicular Ad Hoc Networks – VANET* com a intenção de realizar a análise de três dos mais promissores protocolos da camada de aplicação *IoT*. Foram analisados os protocolos *Constrained Application Protocol – COAP*, o *Message Queuing Telemetry Transport - MQTT* e o *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks - 6LowPAN*, esses protocolos possuem características similares entre si, como: eficiência energética, pouca necessidade de processamento e baixa latência, características estas que são ideais para as redes veiculares. Em um cenário elaborado pelo simulador *Omnet++* em conjunto com os frameworks *Veins* e *Sumo*, testamos a eficiência desses protocolos em uma rede *Vanet* onde foram utilizadas as métricas de latência, perda de pacotes, *jitter* e *throughput*. Para as análises, foi considerado um modelo de ultrapassagem veicular, onde os veículos envolvidos necessitam estar cientes da existência de outros veículos próximos e estarem alertas a suas mudanças de rota e velocidade. Este trabalho foi realizado utilizando-se em conjunto as redes *802.11p*, a rede *802.15.4* e a promissora rede móvel *5G*, com a intenção de verificar sua eficiência no suporte aos motoristas em ultrapassagens onde os mesmos não possuam uma boa visibilidade. Durante as simulações foram aplicados os conceitos de Distância de Visibilidade de Ultrapassagem – *DVU*, que são utilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - *DNIT* e até mesmo pela *American Association of State Highway Transportation Officials – AASHTO*. Ao final das simulações, que se basearam em um cenário de rodovia bidirecional com veículos em diferentes direções e em velocidades aleatórias, foi identificada a eficiência superior do protocolo *MQTT*, trabalhando em conjunto com o padrão de redes móveis *5G*. A eficiência dessa combinação foi constatada em todas as métricas utilizadas, deixando claro que a associação entre essas duas tecnologias constitui-se em uma excelente escolha em favor do conceito das cidades inteligentes.

Palavras-chave: Cidades inteligentes, Protocolos *IoT*, *VANETs*, *COAP*, *MQTT*, *6LowPAN*.

Abstract

Based on the concepts of smart cities, Internet of Things - IoT and the resources that sensor networks can aggregate, this work is based on the evaluation of protocols and standards that can be used in vehicular networks (Vehicular Ad Hoc Networks – VANET) with the intention to carry out the analysis of three of the most promising application layer protocols IoT. The Constrained Application Protocol – COAP, Message Queuing Telemetry Transport - MQTT and IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks - 6LowPAN, these protocols have similar characteristics to each other, such as: energy efficiency, little need for processing and low latency, characteristics that are ideal for vehicular networks. In a scenario created by the Omnet++ simulator together with the frameworks Veins and Sumo, we tested the efficiency of these protocols on a Vanet network where latency, packet loss, jitter and throughput metrics were used. For analyses, was considered a model of vehicular overtaking, where the vehicles involved need to be aware of other vehicles nearby and be alert to their changes in route and speeds, this work was carried out using 802.11p networks together, the 802.15.4 and the promising 5G mobile network with the intention of verifying its efficiency in supporting drivers when overtaking where they do not have good visibility. In our simulations, the concepts of Overtaking Visibility Distance – DVU were applied, which are used by the National Department of Transport Infrastructure - DNIT and even even by the American Association of State Highway Transportation Officials – AASHTO. To the end of the simulations, which were based on a bidirectional highway scenario with vehicles in different directions and at random speeds, the superior efficiency of the MQTT protocol working in conjunction with the 5G mobile network standard. The efficiency of this combination was found in all metrics used, making it clear that the association between These two technologies constitute an excellent choice in favor of the concept of cities intelligent.

Keywords: *Smart Cities, IoT Protocols, VANETs, COAP, MQTT 6LowPAN.*

Lista de ilustrações

Figura 1 – Etapas da Pesquisa	15
Figura 2 – Camadas da interação IoT	19
Figura 3 – QoS	21
Figura 4 – Edge Computing	22
Figura 5 – Sensores	23
Figura 6 – VANETs	25
Figura 7 – Processo do Mapeamento Sistemático	27
Figura 8 – Publicações por ano	35
Figura 9 – DVU	42
Figura 10 – Equação para DVU	43
Figura 11 – Manual Projeto Geométrico	44
Figura 12 – DVU para sinalização	44
Figura 13 – DVU para sinalização EUA	44
Figura 14 – Canais de Frequência DSRC	46
Figura 15 – Comparação das tecnologias 4G e 5G	47
Figura 16 – Arquitetura MQTT	48
Figura 17 – Arquitetura 6LOWPAN	49
Figura 18 – Arquitetura COAP	51
Figura 19 – Cenário criado com o Veins e o Sumo no Omnet++	54
Figura 20 – Cenário de estradas com Veins e o Sumo no Omnet++	54
Figura 21 – Cenário construído no Conti Cooja 2.7	55
Figura 22 – Captura de pacotes no Wireshark para 6LowPAN	55
Figura 23 – Perda de pacotes 802.11p e 5G	57
Figura 24 – Perda de pacotes 6LowPAN com 802.15.4 e 5G	57
Figura 25 – Jitter 802.11p e 5G	59
Figura 26 – Jitter 802.15.4 e 5G	59
Figura 27 – Latência 802.11p e 5G	60
Figura 28 – Latência 6LowPAN 802.15.4 e 5G	61
Figura 29 – Troughput 802.11p, 5G e 6LowPAN	62
Figura 30 – Mapa do cenário	77
Figura 31 – Código <i>map.rou</i> do <i>Omnet++</i>	78
Figura 32 – Código <i>6LowPAN</i> no <i>Omnet++</i>	79

Lista de tabelas

Tabela 1 – Alguns protocolos IoT	20
Tabela 2 – String de Busca Genérica.	29
Tabela 3 – String de busca utilizada em cada biblioteca digital	29
Tabela 4 – Resultados da Busca	30
Tabela 5 – Artigos Selecionados após Critérios de Análise	30
Tabela 6 – Questões de Pesquisa: Q1, Q2, e Q3	37
Tabela 7 – Questões de Pesquisa: Q4 e Q5	38
Tabela 8 – Ambiente das simulações	53

Lista de abreviaturas e siglas

6LowPAN	<i>IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks</i>
AASHTO	<i>A American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CWS	<i>Collision Warning System</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DVU	Distância de Visibilidade de Ultrapassagem
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IRTF	<i>Internet Research Task Force</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPv4	<i>Internet Protocol versão 4</i>
IPv6	<i>Internet Protocol versão 6</i>
IoT	<i>Internet Of Things</i>
IoV	<i>Internet of Vehicular</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITS	<i>Intelligent Transportation System</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
PC	Personal Computer
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>

RSU	<i>Roadside Units</i>
SDN	<i>Software Defined network</i>
SV	<i>Sensor Vehicle</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TC	<i>Traffic Conditioning</i>
UFS	Universidade Federal de Sergipe
VANETs	<i>Vehicle Ad Hoc Networks</i>
V2I	<i>Vehicle to Infrastructure</i>
V2V	<i>Vehicle to Vehicle</i>
V2X	<i>Vehicle-to-Everything</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Problemática e Hipótese	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Objetivos	15
1.4	Metodologia	15
1.4.1	Classificação da Pesquisa	16
1.4.2	Etapas de Pesquisa	16
2	Fundamentação Teórica	18
2.1	Internet das Coisas	18
2.1.1	Protocolos IoT	19
2.1.2	Qualidade de Serviço - <i>QoS</i>	20
2.2	Edge Computing	21
2.2.1	Sensores	22
2.3	<i>VANETs</i>	24
2.4	Considerações Finais	24
3	Revisão da Literatura	26
3.1	Metodologia da Pesquisa	26
3.2	Questões de pesquisa (QP)	27
3.2.1	Motivação para as Questões de Pesquisa	27
3.3	Estratégia de Busca e Seleção	28
3.3.1	CrITÉrios de Inclusão (CI) e Exclusão (CE)	28
3.4	Condução	29
3.5	Trabalhos Relacionados	30
3.6	Resultados e Discussões	35
3.7	Conclusão	37
4	Modelo de Distância de Visibilidade de Ultrapassagem	39
4.0.1	Distância de Visibilidade de Ultrapassagem	40
4.0.2	Modelo DNIT/AASHTO 2004	41
5	Modelos de Transmissão e Protocolos Utilizados	45
5.0.1	Padrão 802.11	46
5.0.2	Padrão 5G	47
5.0.3	Protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)	48

5.0.4	Protocolo 6Lowpan (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)	49
5.0.5	Protocolo COAP (Constrained Application Protocol)	50
6	Simulações	52
7	Resultados e Discussões	56
7.1	Resultados de Perda de Pacotes	56
7.2	Resultados do Jitter	58
7.3	Resultados da Latência	59
7.4	Resultados do Throughput	61
7.5	Resultados e Discussões	63
7.6	Conclusão	63
7.7	Dificuldades Encontradas	64
7.8	Trabalhos futuros	64
	Referências	66
	Apêndices	72
	APÊNDICE A Quisque libero justo	73
	APÊNDICE B Nullam elementum urna vel imperdiet sodales elit ipsum pharetra ligula ac pretium ante justo a nulla curabitur tristique arcu eu metus	74
	Appendices	76
	A Mapas e códigos utilizados	77

1

Introdução

As Tecnologias da Informação e Comunicação - TICs, possuem cada vez mais um papel de relevância na solução de diversos problemas do mundo moderno. Desafios estes que em diversos casos, ainda que apoiados por estas tecnologias, não são fáceis de serem solucionados. A Internet das Coisas - *IoT* mostra-se como uma das mais promissoras tecnologias voltadas as necessidades existentes e, portanto, possui diversas características que são necessárias para um cenário de soluções viáveis, tais como: dinamismo, auto-adaptação, autoconfiguração, interoperabilidade e integração com as redes tradicionais (ZEADALLY et al., 2012)

Existe uma diversidade de estudos para *IoT*, como em cidades inteligentes, saúde, agricultura, etc. Portanto são muitas as necessidades em aberto para estudar os cenários existentes, principalmente se levarmos em consideração o contexto de cidades inteligentes. Em tais ambientes à integração dos dispositivos, sensores e protocolos geram uma avalanche de dados, enquanto exigem uma resposta rápida e eficiente, com uma latência cada vez menor, ou seja, uma resposta com Qualidade de Serviço (*QoS - Quality of Service*) aprimorada e bem definida (MAGLOGIANNIS et al., 2022).

Quando os dados do ambiente físico são transferidos na forma de pacotes em uma rede, este processo gera muitos desafios, tais como: perda de pacotes, corrupção de dados e a depender da quantidade de nós envolvidos, lentidão na entrega dessas informações. Portanto, o QoS torna-se um fator determinante nas redes com elevados índices de tráfego, na qual à velocidade de resposta entre os nós consiste em um fator primordial e crucial para o seu funcionamento (K; RAMYA; AROCKIAM, 2019).

As redes de sensores, no contexto da *IoT*, apoiadas pelo conceito de Redes Veiculares - *VANETs* e com um esquema de protocolos específicos para estes tipos de redes, serão o próximo passo para a resolução de vários problemas relacionados ao tráfego de veículos nas estradas, tais como: impedir a colisão de veículos, evitar áreas congestionadas ou com problemas de pavimentação degradada dentre outros. A *IoT*, juntamente com os conceitos de redes Veículo

para Veículo (V2V) e Veículo para Infraestrutura (V2I) trazem a chave para o desenvolvimento de soluções em diversos sentidos para o conceito de cidades inteligentes (PARRADO; DONOSO, 2015).

Existem casos em que torna-se necessário a implementação de toda uma estrutura de apoio aos sensores utilizados nesse tipo de rede, seja devido a questões de melhoria de sinal em áreas de sombra, seja em questões onde o gerenciamento de *QoS* ou a latência tornam-se um ponto de vital na viabilidade das mesmas.

Diversos projetos em *IoT* envolvem questões referentes à necessidade de latência reduzida e manipulação de uma grande quantidade de dados. Em muitos desses projetos é necessário recorrer a recursos de infraestrutura que apoiem o atendimento a tais requisitos, sendo a *Edge Computing* um dos tipos de infraestrutura mais utilizadas nesses cenários (CUI et al., 2020).

Diante desse contexto, este trabalho propõe-se a realizar uma análise, através de simulação, dos protocolos mais utilizados nas redes de sensoriamento *IoT* aplicados as redes *VANETs*. As análises serão comparativas, buscando identificar os protocolos e tecnologias que produzem as melhores métricas de *QoS*, tais como: latência, *throughput*, perda de pacotes e *jitter*.

Uma infraestrutura de *Edge Computing* poderá ser introduzida ao cenário de simulação, a fim de que se possa mensurar se haverá benefícios nessas redes com a introdução desse elemento. Os resultados obtidos através das simulações serão catalogados, abordando posteriormente os pontos positivos e negativos dos cenários de *VANETs* realizados, ou seja, com e sem os elementos de infraestrutura.

1.1 Problemática e Hipótese

Redes veiculares são redes formadas por veículos automotores e por equipamentos fixos, geralmente localizados às margens de ruas ou de estradas. Devido as características como alta mobilidade dos nós, enlaces intermitentes e requisitos estritos de latência, muitos protocolos utilizados em redes *ad hoc* móveis não apresentam desempenho satisfatório (SANTOS et al., 2009).

As redes veiculares trazem em seu contexto a comunicação entre diversos nós, que por sua vez, possuem estágios de comunicação totalmente diversificados, podendo a qualquer momento sofrer alterações no seu padrão de respostas e recebimento, sem um aviso prévio.

Em cenários onde as TICs possibilitam o emprego dessas tecnologias, como forma de prevenir ou evitar colisões entre os nós, torna-se necessário um estudo das possíveis soluções envolvidas a fim de conciliar o cenário de imprevisibilidades e a integração dos métodos disponíveis.

Diante desse contexto, esta pesquisa tem por finalidade fazer uma análise através de simulações, das melhores estratégias de comunicação entre os dispositivos que compõem uma

rede veicular, envolvendo protocolos *IoT*. Dessa forma pretende-se sugerir um modelo de rede que apresente uma maior eficiência na detecção de nós e possa prevenir possíveis colisões entre eles no contexto das ultrapassagens utilizando o modelo *Vehicle to Vehicle (V2V)*.

1.2 Justificativa

As redes veiculares vêm se tornando uma realidade cada vez mais presente, principalmente no que diz respeito a utilização de sensores para os mais diversos fins (SANTOS et al., 2009). Assim sendo, o tema proposto possui grande relevância no cenário da tecnologia da informação e especificamente no contexto das cidades inteligentes.

Baseando-se também nas necessidades envolvendo questões de segurança nas estradas e os acidentes que geram um número cada vez maior de vítimas, as tecnologias envolvidas no escopo desta dissertação, visam atender lacunas ainda não preenchidas na literatura atual e assim sendo, colaborar na diminuição de fatalidades nas rodovias.

Para auxiliar no preenchimento dessas lacunas, foi realizado um mapeamento sistemático, elaborado com a finalidade de identificar as pesquisas relativas ao tema e os pontos ainda não resolvidos ou pouco esclarecidos a respeito da latência de transmissão entre os nós, os protocolos mais adequados para a comunicação entre eles e o suporte de infraestruturas de apoio.

O tipo de acidente mais comum nas vias federais é a colisão, que responde por (59,4%) do total de ocorrências. Em seguida, vêm saídas da pista (15,7%); capotamento e tombamentos (12,2%); atropelamentos (7%) e quedas de ocupante (5,3%). As colisões também respondem por (61,8%) das situações com óbitos, enquanto os atropelamentos provocam (17,4%) dos casos, seguidos pelas saídas de pista (12,8%) (CNT, 2021).

A Assembleia Geral das Organizações das Nações Unidas (ONU) adotou a resolução “Melhorando a segurança viária global” e proclamou a década para a “Segurança nas Estradas 2021-2030”. A meta é evitar, pelo menos, 50% dos acidentes com mortes e ferimentos até 2030 (ONU, 2021).

Portanto este trabalho consiste na utilização de sensores *IoTs (Internet of Things)* com protocolos que possuam baixa latência e confiabilidade, aliados ou não a uma infraestrutura de apoio às redes *ad-hoc* veiculares (*VANETs - Vehicle Ad Hoc Networks*) desta forma, trará uma abordagem de segurança maior no quesito de auxiliar os nós envolvidos, ao ponto de contribuir na detecção dos nós que estejam com dificuldades de descoberta de vizinhança ou perdendo sua conexão com os outros elementos da rede.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta proposta é avaliar, através de simulação, uma rede de sensores para *VANETs*, para a prevenção de colisões ou alertas de aproximação de veículos em pontos cegos das estradas. Essa análise leva em consideração protocolos e enlaces de comunicação que possam garantir *QoS* necessário ao tipo de aplicação analisada.

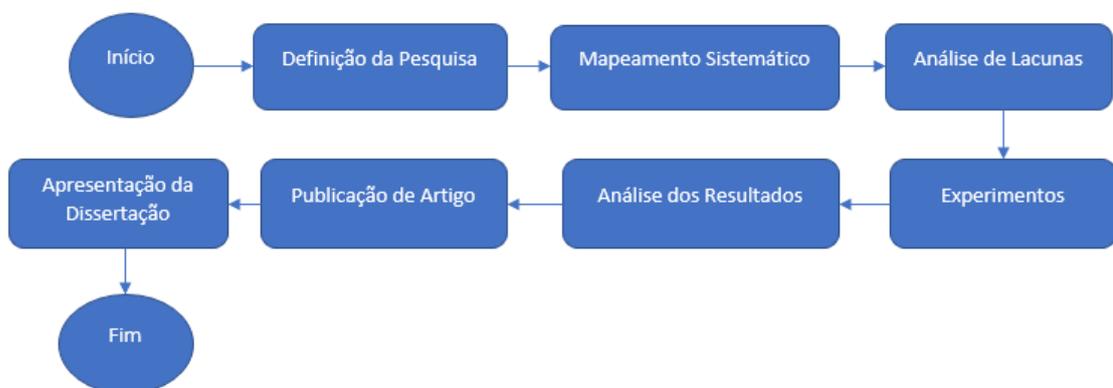
Os seguintes objetivos específicos também foram estabelecidos:

- Propor uma arquitetura de protocolos *IoT* para suporte a uma rede V2I (Vehicular-to-Infrastructure), V2V (Vehicular-to-Vehicular) ou V2X (Vehicle-to-Everything) voltada a sistemas anticolisão;
- Avaliar a viabilidade e confiabilidade da arquitetura proposta;
- Utilizar métricas de latência, perda de pacotes, *throughput* e *jitter*, a fim de verificar a viabilidade dos protocolos envolvidos.
- Averiguar quais as tecnologias que melhor se encaixam ao escopo proposto.

1.4 Metodologia

Neste capítulo é apresentada a metodologia a ser utilizada nesta pesquisa, indicando os passos planejados e os meios utilizados para o desenvolvimento do trabalho. O fluxo dessa metodologia é mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Autoria própria, 2023

1. Definição da Pesquisa: Esse trabalho é direcionado a problemática inerente às questões dos acidentes de trânsito em rodovias, devido a ultrapassagens indevidas em pontos cegos. Esse foco foi ratificado posteriormente, ao identificar as lacunas existentes na busca por soluções

relacionadas, que instigaram alcançar desenvolvimentos científicos que agreguem tanto à literatura acadêmica quanto à sociedade em geral.

2. Mapeamento Sistemático: Nessa etapa foi possível identificar as lacunas inerentes ao tema, bem como direcionar a pesquisa, tornando-a mais dinâmica, utilizando-se de bases de dados científicas para ter acesso a artigos e publicações relacionadas ao tema.

3. Análise de Lacunas: Dentre os vários artigos selecionados durante o mapeamento, foi possível observar as lacunas existentes dentro do contexto pesquisado e, assim sendo, foram identificados passos desnecessários e direções impeditivas, devido às limitações tecnológicas.

4. Simulações: Nesta etapa, estudos relacionados aos protocolos da camada *IoT* de aplicação, tais como: *COAP*, *MQTT*. Da camada de enlace: o *5G* o *6LowPAN* e o *802.15.4*, esses estudos foram realizados a fim de identificar quais destes estariam aptos ao escopo desejado.

5. Análise dos Resultados: Nesta etapa os dados coletados durante as simulações foram analisados, permitindo a obtenção de conclusões sobre a viabilidade e adequação de cada tecnologia nos cenários estudados. Em seguida os dados foram comparados, com os dados existentes na literatura científica, visando assim, o preenchimento de lacunas existentes.

6. Publicação: Os resultados gerados por essa pesquisas foram escritos em forma de artigos para submissão.

7. Dissertação: Nesta fase, foi redigida o presente documento, que descreve e sistematiza o conhecimento adquirido ou reforçado durante esta pesquisa e são mostrados todos os resultados coletados. Bem como as análises, soluções e desafios encontrados.

1.4.1 Classificação da Pesquisa

A metodologia utilizada nesta dissertação está classificada como uma pesquisa exploratória, descritiva e quantitativa, buscando encontrar soluções aos problemas apresentados.

Segundo (GIL, 2002), a pesquisa exploratória tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito, através da inclusão de um levantamento bibliográfico. Já o estudo descritivo tem como finalidade principal à descrição das características de uma determinada população ou fenômeno.

Ainda segundo (GIL, 2002), as pesquisas quantitativas consideram que tudo possa ser contável, ou seja, que sejam geradas informações a partir de números para assim classificá-los e analisá-los.

1.4.2 Etapas de Pesquisa

Esta dissertação está dividida de modo que se possa compreender e identificar as suas necessidades. Na primeira fase foi realizado um mapeamento sistemático, a fim de verificar as

lacunas de pesquisa existentes a respeito do tema, bem como encontrar o pensamento teórico dos pesquisadores da área, procurando um embasamento sobre o assunto abordado.

Para Petersen et al. (PETERSEN et al., 2008), um Mapeamento Sistemático da Literatura busca analisar questões e responder de modo a adicionar ou indexar evidências das temáticas propostas. Isso é possível devido a se tratar de um processo com critérios rigorosos de natureza interativa. Seu principal objetivo é dar uma visão geral em relação a uma área específica, identificando a quantidade e o caráter da pesquisa, o que permite trazer resultados relevantes que estejam disponíveis (MAICSON, 2018).

Na segunda fase, foram coletadas as informações trazidas a partir do mapeamento sistemático e, desta forma, a pesquisa se seguiu de maneira a evidenciar as lacunas e dificuldades encontradas nas pesquisas já realizadas.

Na terceira fase, foi desenvolvido um estudo baseado em simulação através das aplicações Contiki Cooja e Omnet++, com os plugins *Sumo* e *Veins*, para que se possa identificar as melhores estratégias *IoT* para *hardware* e *software*, assim gerando soluções possíveis para o tema proposto. As simulações foram realizadas de forma controlada, almenjando gerar resultados para comparações e métricas de desempenho na estrutura do escopo proposto.

Fornecido pelo projeto Contiki OS, o simulador Cooja tornou-se uma ferramenta amplamente utilizada no domínio de Redes de Sensores Sem Fio (*WSN*). A comunidade de pesquisa usa-o especialmente, e extensivamente para realizar simulações de redes sem fio pequenas às relativamente grandes, com relação ao número de dispositivos conectados. Essas simulações incorporam sensores e ou atuadores, comumente denominados “*motes*”, permitindo desenvolver, depurar e avaliar projetos baseados em *WSN* (SONG, 2016).

OMNeT++ é uma estrutura modular de simulação de eventos discretos orientada a objetos (VARGA; HORNIG, 2010). Tem uma arquitetura genérica e tem sido utilizado em vários domínios de problemas, tais como:

- Modelagem de redes de comunicação com e sem fio;
- Modelagem de protocolo;
- Modelagem de redes de filas.
- Modelagem de multiprocessadores e outros sistemas de hardware distribuídos.
- Validação de arquiteturas de hardware;
- Modelagem e simulação de qualquer sistema onde a abordagem de eventos discretos é adequada e pode ser convenientemente mapeada em entidades que se comunicam por meio da troca de mensagens.

2

Fundamentação Teórica

Para melhor embasar os conceitos descritos nesta proposta, realizamos a pesquisa nas bases literárias da área, tornando os temas abordados mais significantes dentro do contexto. Será apresentado para este capítulo as definições que norteiam esta pesquisa, tais como, Internet das Coisas, Protocolos IoT, Qualidade de Serviço, *edge computing*, sensores e *VANETs*.

2.1 Internet das Coisas

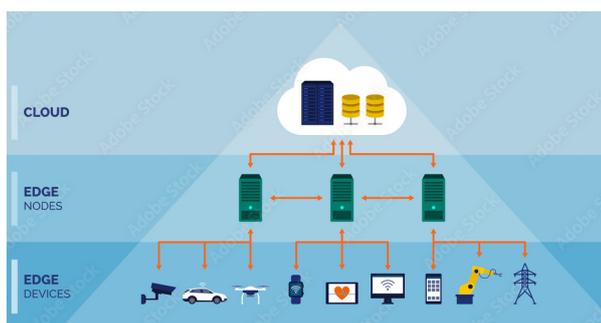
A Internet das Coisas - *IoT*, é um conceito que aborda de forma mais ampla as tecnologias de rede, conectando todo e qualquer dispositivo à Internet através de protocolos diferenciados e realizando os mais diversos tipos de serviços, tais como: monitoramento, posicionamento, administração e rastreamento, de forma inteligente e baseada nos requisitos devidos a cada situação exigida (K; PATEL; SCHOLAR, 2016).

Com constantes evoluções e uma grande interação entre dispositivos e coisas, a Internet das Coisas - *IoT*, vem gerando uma grande gama de serviços, fazendo com que o conceito de Cidades Inteligentes torne-se cada vez mais presente no cotidiano. A *IoT* traz a todos uma grande integração de tecnologias expandindo-se inclusive a redes veiculares auxiliadas por sensores (HONG; KIM; KIM, 2017).

Como uma confluência de tecnologias envolvendo diversas características, a *IoT* promete cada vez mais a integração da *Cloud Computing*, *Fog Computing* e Sistemas de Sensoriamento, tornando-se um dos paradigmas dominantes futuramente. Se observarmos no princípio, os conceitos relativos as aplicações de *IoT* estavam principalmente relacionados com objetos e processos comuns do dia a dia. No entanto, o crescimento dessa tecnologia mudou o foco de sua implementação, expandindo-a para diversas áreas como: automação industrial, cidades inteligentes, segurança pública, sistemas médicos e de saúde, entre muitos outros (ELAZHARY, 2019).

A Figura 2 descreve o modelo básico da Internet das Coisas da forma como descrito por diversos autores e da forma como foi concebida. Toda uma interação entre dispositivos finais que poderão relacionar-se entre eles e uma infraestrutura de apoio para tomada de decisões que necessitem de uma resposta mais rápida, principalmente em questões que envolvem sinais de sensores pois geralmente estes necessitam de uma maior precisão. Desta forma então, a edge computing torna-se um ponto de relacionamento entre os dispositivos e as decisões, bem como o relacionamento entre as decisões e até mesmo uma nuvem de dados.

Figura 2 – Camadas da interação IoT



Fonte: AdobeStockFree, 2022. Disponível em: www.stock.adobe.com/br

2.1.1 Protocolos IoT

Com o advento da Internet, surgiram diversas tecnologias e formas de inovação, uma dessas foi a Internet das Coisas (*IoT*), que tem como seu objetivo, criar uma conexão entre objetos e a Internet. Para isso acontecer é necessário uma certa precisão na entrega e na segurança de seus dados, logo protocolos já existentes foram adaptados a *IoT* e que servem para auxiliar na configuração da comunicação e segurança entre a aplicação e objeto. Existem diversos protocolos para as mais diferentes funções, que vão do envio de mensagens até a privacidade de dados de seu usuário (TIGHTIZ; YANG, 2020).

A rápida expansão das tecnologias voltadas à *IoT* trouxe algumas vantagens para todos, como a possibilidade de controlar objetos interligados entre si em sua casa através da Internet. Contudo, alguns dispositivos podem ser vulneráveis em relação à segurança na transferência de dados, ensejando o uso de protocolos com recursos tais como autenticação e criptografia. Desta forma, os protocolos usados na *IoT* podem evitar o vazamento de dados de usuários e também uma entrega de dados de modo mais confiável (GHEORGHE et al., 2020).

Quando as tecnologias da Internet das Coisas (*IoT*) foram integradas na maioria das redes inteligentes, uma das preocupações era o modo como a segurança de dados funcionaria de forma que não afetasse o desempenho da aplicação (MISHRA et al., 2022). Nesse contexto, passou-se a utilizar recursos de segurança em conjunto com protocolos de comunicação que diminuíssem o tempo de resposta entre as aplicações na rede. Desta forma, passou a ser possível uma melhor experiência do usuário (WADHWA; ARON, 2018).

A Tabela 1 exibe alguns dos mais conhecidos protocolos utilizados em redes *IoT*, estes protocolos são relativamente novos ou revisionados para adaptação de projetos mais simples ou comunicações com latência menor.

Tabela 1 – Alguns protocolos IoT

Protocolo	Camada
Http	Aplicação
CoAP	Aplicação
MQTT	Aplicação
TLS	Transporte
Quic	Transporte
6LowPAN	Enlace

Fonte: Autoria própria, 2023

2.1.2 Qualidade de Serviço - *QoS*

QoS (Quality of Service) é um conjunto de regras que comportam dois tipos de propriedades, que são: propriedades objetivas, que buscam destacar elementos que interferem diretamente no funcionamento de sua aplicação, tais como, o tempo de resposta das informações coletadas, o gasto de energia para seu funcionamento e seu custo de operação; e as propriedades subjetivas que utilizam de elementos secundários como, avaliações de usuários e segurança de informações (CHEN et al., 2019).

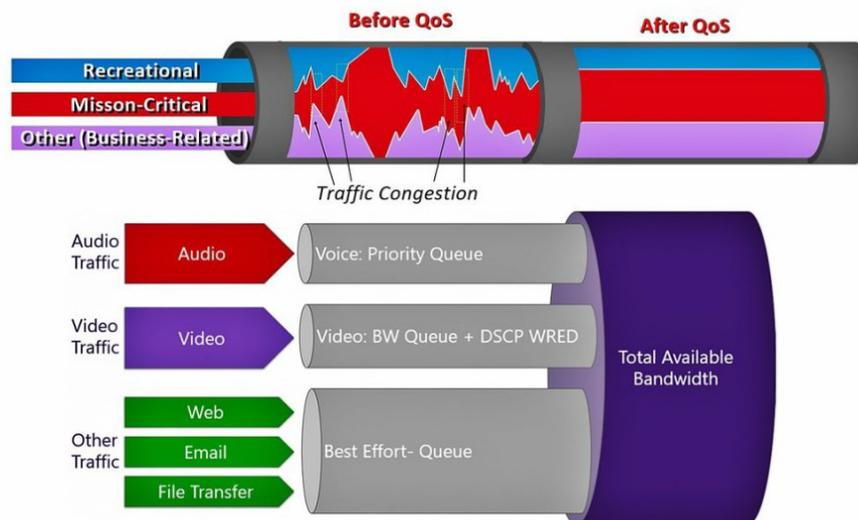
De acordo com Sheikh (2018), o *QoS* é uma junção de vários parâmetros dentro de uma aplicação, a exemplo dos seguintes fatores: a confiança de manter seguro os dados do usuário e a latência da troca de informações dentro da aplicação. Todas essas funcionalidades são necessárias em um servidor, para enviar com segurança todos os dados para o usuário com uma alta precisão (SHEIKH, 2018).

Em alguns casos, as exigências de *QoS* para uma aplicação são bastante rígidas, para isso, sua latência deve ser baixa e a sua confiabilidade com os dados armazenados devem ser altamente rigorosa (GHEISARI et al., 2020).

Outro conceito importante é o da criação de várias regras para que a experiência em uma aplicação se torne segura. Sendo assim um dos pontos mais analisados dentro do *QoS* é a velocidade em que as informações demoram para chegar em uma aplicação, pois em casos como os da *VANETs*, é muito importante a precisão com que essas informações cheguem para seu usuário e torna-se necessário que todos os pontos sejam analisados em tempo real (PATEL; KAUSHIK, 2018).

A Figura 3 nos apresenta uma implementação de gerenciamento *QoS* para tráfego de rede, onde sua configuração baseada nos processos de trabalho de uma rede, interferem diretamente na performance da mesma, e em redes IoT a performance está diretamente ligada a baixa latência.

Figura 3 – QoS



Fonte: Microsoft, 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/microsoftteams/qos-in-teams>

2.2 Edge Computing

Com o crescimento da tecnologia *IoT*, foi necessário buscar soluções para o armazenamento e processamento dos dados advindos de (ou direcionados a) diversos sensores e atuadores conectados a Internet. A computação em nuvem seria uma solução para tal demanda, devido à sua flexibilidade e facilidade de acesso aos recursos de qualquer meio e lugar com acesso à Internet. No entanto, notou-se que essa, não seria a melhor opção, pois a latência de acesso aos dados na nuvem é alta em muitas situações. Então surgiu a computação de borda que levou os servidores para mais próximo do usuário, trazendo uma taxa de resposta e velocidade muito maior se comparado com a nuvem (GUSEV; DUSTDAR, 2018).

A criação da tecnologia *IoT* aconteceu de forma bem rápida e com esse crescimento surgiu a *edge computing*, que foi feita para suportar a demanda das várias operações, ela trouxe a baixa latência, que vem através dos servidores próximos aos usuários das aplicações, isso acarretou em bandas mais rápidas e mais precisas na hora do compartilhamento das informações (WANG et al., 2018).

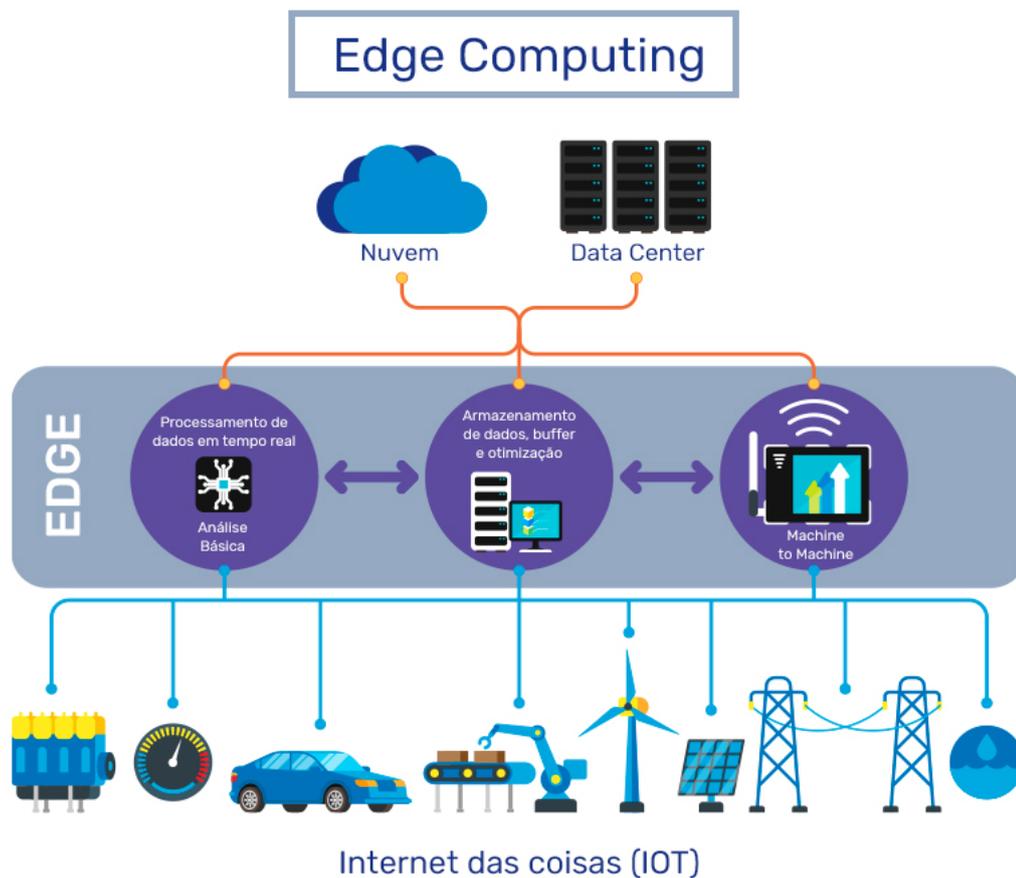
Segundo (HUSNAIN; ANWAR, 2021) a *cloud computing* trouxe vários benefícios quando falamos de programação em *IoT*, porém nem sempre ela será a melhor escolha, pois a sua alta latência prejudicaria serviços que necessitam de resposta rápida, nesses casos que a *edge*

computing entra em cena, seu foco é estabelecer conexões rápidas e seguras para os dispositivos, melhorando assim o seu desempenho e precisão na hora das respostas da aplicação.

Segundo (SOTO; GRANDE; BOUKERCHE, 2017) a computação em borda surgiu para solucionar os problemas de latência e desempenho da *cloud computing*, principalmente na área veicular, pois os aplicativos para veículos necessitavam de uma taxa de resposta rápida, mesmo com recursos limitados. O diferencial da *edge computing* em comparação com a *cloud computing*, é a proximidade entre servidor e usuário, tornando as aplicações muito mais precisas e eficientes.

A Figura 4 mostra uma arquitetura de *edge computing*, ideal para projetos em que o tempo de transmissão de mensagens não seja um ponto negativo na resposta ativa de elementos da *IoT*.

Figura 4 – Edge Computing



Fonte: Cronapp, 2020. Disponível em: www.blog.cronapp.io

2.2.1 Sensores

Nos últimos anos a ascensão da tecnologia *IoT* foi imensa e com isso cada vez mais vemos as suas aplicações no cotidiano em conceito de Cidades Inteligentes, uma das principais aplicações é na instalação de redes de sensores sem fio, eles se comunicam entre si através

da internet e podem coletar todo tipo de informação no ambiente ao seu redor e processá-las diretamente na internet, além da facilidade de seu uso e instalação (SCHUTZE; HELWIG; SCHNEIDER, 2018).

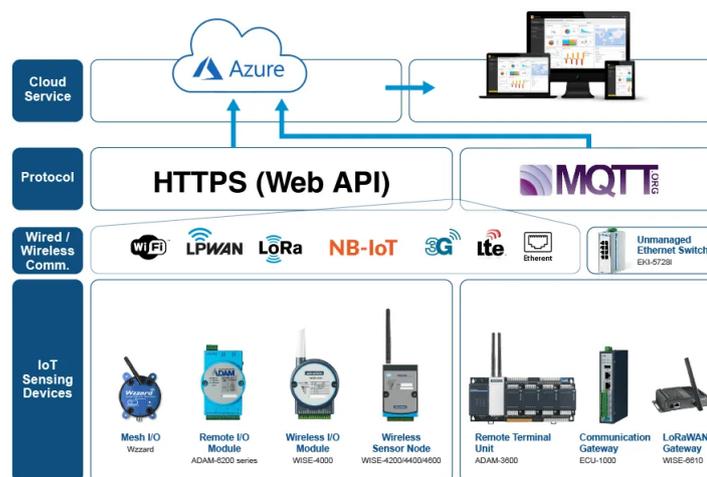
Com a popularização da tecnologia *IoT*, cada vez mais vemos inovações na área. Na grande maioria dos casos de aplicações *IoT*, temos como componente principal os sensores, sendo os mais usados os sensores sem fio, pois podem enviar todas as informações coletadas diretamente para o seu servidor na Internet, para o processamento da mesma, além de se conectar diretamente a um servidor, os sensores podem se conectar entre si para reunir o máximo de informações de todos os tipos (WEYNSI; DONCKT1, 2019).

A popularização do uso de sensores para várias funções se deu a partir da popularização de tecnologia *IoT*, as redes de sensores sem fio, trabalham de forma que vários nós detectem qualquer evento dentro de um certo ambiente e mandar toda a informação analisada para uma determinada aplicação via Internet, seja uma aplicação *mobile* ou um servidor na internet e com todas as informações reunidas dos sensores alguma medida é executada (ANWAR et al., 2019).

Os sensores são as aplicações mais utilizadas nas Cidades Inteligentes, através de sensores sem fios que são organizados para coletar, processar dados predefinidos e enviar para o local especificado pela aplicação, é que as Cidades Inteligentes realizam toda a conexão entre as diversas áreas da rede (EDTD-SC. . . , 2020).

A Figura 5 exemplifica a conexão entre os diversos tipos de sensores utilizados na IoT e seus seguimentos dentro do conceito de Cidades Inteligentes.

Figura 5 – Sensores



Fonte: pageadvantech, 2022. Disponível em: www.advantechembarcados.com.br

2.3 VANETs

As redes *VANETs* (*Vehicular Ad hoc Networks*), servem para criar uma comunicação entre veículos ou entre um veículo e uma estrutura física. Esse conceito teve como objetivo a segurança em rodovias e comunicações no projeto de cidades inteligentes e para isso ser possível é popularmente usado nas redes *VANETs* a *edge computing*, pois a velocidade de envio dos dados é mais eficiente (LI; SI; ZHANG, 2018).

A cada dia, as redes Veiculares *Ad Hoc* (*VANETs*) experimentam um crescimento contínuo, impulsionado por sua proposta de tornar o trânsito um ambiente mais seguro tanto para os condutores de veículos quanto para os pedestres. Estima-se que, nos próximos 10 a 20 anos, as *VANETs* serão adotadas por cerca de 2 bilhões de veículos. O destaque dessas redes vai além da comunicação veículo a veículo, pois também possibilitam interações com estruturas preestabelecidas (LU et al., 2018).

Sami et al. (2019) indicam que as *VANETs* trazem um novo modo de dar segurança automotiva em rodovias ou em zonas urbanas, bastando apenas um suporte via internet para obter informações sobre acidentes ou até reformas que impedem a mobilidade urbana, além disso pode ser usada em sensores de colisão para veículos, principalmente em rodovias (OUBBATI et al., 2020).

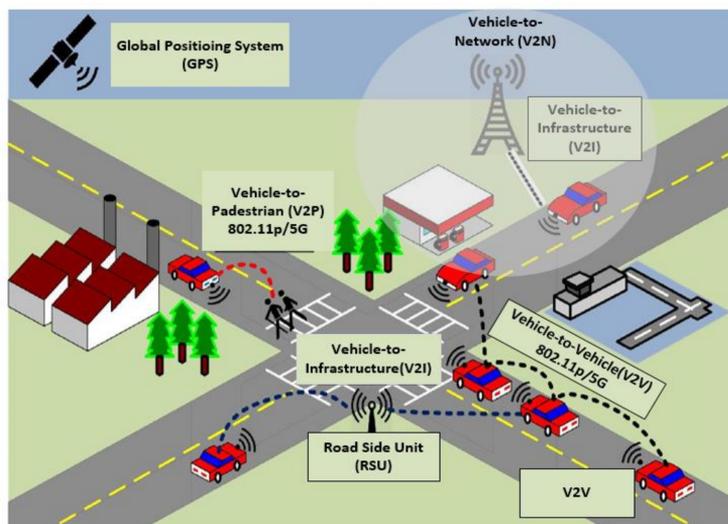
Sistemas inteligentes integrados às *VANETs* buscam estabelecer segurança em tempo real, utilizando sensores com respostas imediatas, podendo ser através de um ou mais veículos ou entre veículos e uma certa estrutura. Esses serviços vão desde *softwares* de saúde móveis até sistemas anti-colisão, além de mandar esses dados para aplicações móveis em *smartphones* (HUSNAIN; ANWAR, 2021).

A Figura 6 demonstra uma estrutura *V2I*, onde as redes veiculares utilizam-se de uma infraestrutura para atuar como intermediária entre os veículos.

2.4 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado o referencial teórico que forneceu embasamento para este trabalho. Aqui foram abordados os conceitos e desafios relacionados a pesquisa proposta, tendo como base as pesquisas acadêmicas já publicadas e citadas no meio científico que norteiam os conhecimentos aqui expostos e direcionam as simulações realizadas.

Figura 6 – VANETs



Fonte: Sami Ullah et al., 2020. Disponível em: www.mdpi.com

3

Revisão da Literatura

Diversas tecnologias vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de mitigar e até erradicar os problemas de trânsito, tão frequentes nas metrópoles do mundo. Tais inovações tornarão as cidades mais inteligentes, auxiliando na superação de desafios não apenas relacionados ao trânsito, mas também à segurança e ao urbanismo.

Esse mapeamento buscará evidenciar, na literatura científica, a utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), com ênfase em protocolos *IoT* e infraestruturas de suporte. O objetivo é elucidar resultados e mensurar as tecnologias envolvidas no contexto de prevenção de acidentes e ultrapassagens no trânsito de rodovias.

3.1 Metodologia da Pesquisa

Descreveremos agora o método utilizado para composição deste mapeamento sistemático, sua estrutura conceitual de pesquisa e modelo de aplicação, para tanto foi utilizado o protocolo proposto por Petersen (PETERSEN et al., 2008). Na Figura 7 é exposto o fluxo do mapeamento sistemático.

Segundo (MAICSON, 2018), um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), tem como objetivo analisar questões e responder de forma a adicionar ou indexar evidências das temáticas propostas. Isso é possível devido ao fato de ser um processo com critérios rigorosos de natureza interativa. Seu principal objetivo é proporcionar uma visão geral em relação a uma área específica, identificando a quantidade e o caráter da pesquisa, o que permite trazer resultados relevantes e disponíveis.

Uma revisão que utiliza o mapeamento sistemático requer um conjunto de fatos para diminuir o viés da pesquisa. Por isso, é elaborado um protocolo contendo as questões de pesquisa (QP), critérios de inclusão (CI), critérios de exclusão (CE), definição das bases científicas e uma sequência de busca contendo palavras-chave (*STRING*), gerando assim um melhor processo de

extração de dados (PETERSEN et al., 2008). O processo de mapeamento é explicado graficamente na Figura 7

Figura 7 – Processo do Mapeamento Sistemático



Fonte: Autoria própria 2023

3.2 Questões de pesquisa (QP)

As seguintes questões de pesquisa (QP) foram definidas para o estudo de mapeamento sistemático:

Questão Principal: Identificar o cenário atual e as tecnologias e conceitos tecnológicos utilizados em redes veiculares.

QP1: Quais são as tecnologias mais promissoras para essa implementação?

QP2: Quais são os desafios encontrados para implementar essa solução?

QP3: Qual é o tipo de infraestrutura que pode prover apoio aos sensores?

QP4: Quais são os fatores humanos que influenciam esse tipo de sistema?

QP5: Em que estágio se encontram estas tecnologias?

3.2.1 Motivação para as Questões de Pesquisa

QP1: Quais são as tecnologias mais promissoras para essa implementação?

Para responder a esta pergunta, utilizamos critérios de exclusão, eliminando assim tecnologias que possam estar defasadas e que demonstraram na literatura científica ser ineficazes na resolução de problemas ainda existentes.

QP2: Quais são os desafios encontrados para implementar essa solução?

Neste questionamento, temos como base as dificuldades que outros pesquisadores encontraram para fundamentar suas teorias ou técnicas e fazer funcionar os cenários requeridos, dificuldades como:

- Interferência na frequência de transmissão;
- Zonas de sombra ou cobertura;
- Baixa latência na transmissão de dados.

QP3: Qual é o tipo de infraestrutura que pode prover apoio aos sensores?

Aqui temos questões relativas e correlacionadas às dificuldades de QP2, buscando assim entre os artigos selecionados os melhores indicadores para hardware e software de apoio aos sensores, ampliando seus sinais, eliminando interferências e diminuindo a um limite aceitável a latência.

QP4: Quais são os fatores humanos que influenciam esse tipo de sistema?

Buscamos as respostas para os principais fatores que geram erros nessas tecnologias, principalmente aqueles que se baseiam na interação humana e na negação da conscientização do processo.

QP5: Em que estágio se encontram as tecnologias encontradas?

Procuramos aqui verificar os níveis de disponibilidade e até que ponto estas tecnologias podem ser aperfeiçoadas ou adaptadas para implementar a pesquisa.

3.3 Estratégia de Busca e Seleção

CrITÉRIOS de inclusão, exclusão e a utilização de uma string de busca dentro das bases científicas, auxiliam na construção de uma pesquisa mais eficiente, retornando ao pesquisador apenas os trabalhos relevantes.

3.3.1 CritÉrios de Inclusão (CI) e Exclusão (CE)

CI1: Relevância com o tema;

CI2: Documento do tipo artigo;

CI3: Publicações entre 2012 e 2022;

CI4: Capítulo de livro;

CE1: Artigos duplicados;

CE2: Trabalhos com acesso limitado ou não disponível;

CE3: Artigos em revisão;

CE4: Artigos curtos ou resumo expandido.

Bases Científicas e String de Busca:

A seguir é mostrado as bases científicas utilizadas bem como os seus links de acesso:

IEEEXplore: <https://ieeexplore.ieee.org/>

ACM DL: <https://dl.acm.org/>

Springer: <https://link.springer.com/>

Scopus: <https://www.scopus.com/>

Web of science: <https://webofknowledge.com/>

A tabela 2 e 3 exibe as *strings* de busca utilizadas. A tabela 1 é uma *string* genérica baseada nas necessidades da pesquisa e a tabela 2 exibe as strings utilizadas de acordo com as regras de elaboração das *strings* de cada base científica.

Tabela 2 – String de Busca Genérica.

((v2v OR "vehicle-to-vehicle" OR "vehicle to vehicle" OR v2i OR "vehicle-to-infrastructure" OR "vehicle to infrastructure") AND (IoT or "Internet of things") AND (collision or accident))

Autoria própria, 2023

Tabela 3 – String de busca utilizada em cada biblioteca digital

Bases	String de Busca
ACM	[All: v2v] AND [All: v2i] AND [All: vanet] AND [All: collision]
IEEEXplore	("All Metadata":v2v) AND ("All Metadata":v2i) OR ("All Metadata":iot) AND ("All Metadata":collision)
Springer	v2v, AND v2i, AND iot AND (collision, OR accident)
Scopus	(v2v OR "vehicle-to-vehicle"OR "vehicle to vehicle"OR v2i OR "vehicle-to-infrastructure"OR "vehicle to infrastructure") AND (iot OR "Internet of things") AND (collision OR accident) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (OA , "all")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Vehicle To Vehicle Communications") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Vehicular Ad Hoc Networks") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Internet Of Things") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Accidents"))
Web of Science	(ALL=(v2v) OR ALL=(v2i) AND ALL=(IoT) AND ALL=(collision or accident)) AND WC=(computer science)

Autoria própria, 2023

3.4 Condução

O resultado geral baseou-se na seleção e triagem de artigos encontrados nas bases científicas selecionadas e devidamente analisados de acordo com os critérios de inclusão. A tabela 4 e 5 exibe os resultados geral e final das buscas nas bases e retornou um total de 1003 artigos. A seleção por base ficou com a seguinte distribuição: *IEEE Digital Library* (118 artigos),

Scopus (288 artigos), *ACM Digital Library* (114 artigos), *SpringerLink* (175 artigos) e *Web Of Science* (308 artigos).

Tabela 4 – Resultados da Busca

Base	Resultado da Busca
IEEE Digital Library	118
Scopus	288
ACM Digital Library	114
SpringerLink	175
Web Of Science	308
Total	1003

Autoria própria, 2023

Após aplicados os critérios de exclusão relacionados ao processo de identificação dos trabalhos e remoção de artigos duplicados, um total de 834 foram excluídos da pesquisa, retornando um total de 169 trabalhos.

Tabela 5 – Artigos Selecionados após Critérios de Análise

Base	Resultados Obtidos	Resultado Final
IEEE Digital Library	118	25
Scopus	288	34
ACM Digital Library	114	24
SpringerLink	175	42
Web Of Science	308	44
Total	1003	169

Autoria própria, 2023

Dos 169 trabalhos remanescentes e baseados nos critérios já dispostos, foram selecionados 15 artigos para leitura completa pois os mesmos atendem a todos os critérios utilizados pelo protocolo de mapeamento utilizado.

3.5 Trabalhos Relacionados

Após análise e leitura dos artigos o mapeamento retornou os trabalhos mais relevantes possuindo em seu cerne, diversas contribuições a respeito do tema abordado e que variam em diversas direções da mesma proposta.

No trabalho de (GOLESTAN et al., 2015), destaca-se que, nas Redes Ad-hoc Veiculares (VANETs), um dos desafios é encontrar informações de localização precisas. Os autores introduziram uma nova abordagem baseada na ideia de localização cooperativa. No esquema proposto, diferentes técnicas de localização foram incorporadas, juntamente com a fusão de dados, bem como a comunicação veículo a veículo, para integrar os dados disponíveis e melhorar

cooperativamente a precisão das informações de localização do veículo. Os resultados da simulação mostram que o compartilhamento de informações de localização e a implantação de veículos vizinhos, não só garantem que os veículos próximos obtenham informações de localização mais precisas, mas também permitem obter resultados robustos em relação à maior precisão dos sensores, ou até mesmo ajudar a encontrar falhas.

No trabalho proposto por (CHEN; FAN; HUANG, 2021) aplicam-se abordagens de aprendizagem profunda ao reconhecimento de imagem para desenvolver um sistema de detecção baseado em IA que possa detectar comportamentos de condução potencialmente perigosos. Várias técnicas baseadas em rede neural convolucional (CNN) incluindo VGG16, VGG19, Densenet e Openpose, foram comparadas em termos de sua capacidade de detectar e identificar condução problemática.

Em (HAKEEM; HADY; KIM, 2020) é mostrado um trabalho onde basicamente nos remete as considerações ou conceitos da grande maioria das tecnologias que podem ou possuem propósitos singulares ao tema deste mapeamento. Os autores abordam questões como interoperabilidade, segurança, zonas de amplitude de sinal e tecnologias antigas e novas para convergência, nos mostrando os diversos aspectos das redes V2V e de como as mesmas devem funcionar para que possuam êxito. Questões como segurança sempre foram um relativo ponto negativo nestes projetos envolvendo sensores e seus requisitos de transmissão de dados, questões essas que muitos autores deixam em segundo plano para que haja uma dedicação no problema central que é um tempo de resposta de sinal, dentro dos limites exigidos para os veículos envolvidos. Os autores nos trazem as comparações de técnicas envolvendo sinais 3GPP17 também conhecido como 5G NR (New Radio), e sinais envolvendo 5G com plataformas de V2X, mostrando inclusive suas diferenças para a plataforma LTE V2X.

De acordo com (YU et al., 2019) a maioria dos estudos relacionados às tecnologias de VANets como V2I apresentam resultados baseados em uma concepção que todos os motoristas vão seguir a risca as recomendações oferecidas pelos sistemas auxiliares e quase nunca consideram como diferentes motoristas podem reagir de maneiras diferentes diante das mais variadas situações. A partir de tal observação foi proposto um método promissor para a verificação do comportamento dos motoristas em interseções tanto com quanto sem tecnologias de veículos conectados. A intenção dos autores foi ter um entendimento se um entendimento tanto de se e como os os motoristas reagem a essas tecnologias quanto um vislumbre mais aprofundado do que seria necessário para que os mesmos motoristas fossem encorajados a seguir essas sugestões, assim aumentando a segurança nas estradas e rodovias. O estudo levou em conta que os motoristas muitas vezes devem tomar decisões em uma quantidade de tempo pequena.

Através do estudo de (MAGLOGIANNIS et al., 2022) é indicado que tanto acidentes e batidas podem ser evitados e os níveis de atenção e alerta dos motoristas podem ser aumentados quando redes sem fio são implementadas. Os autores argumentam que há resultando em uma propensão maior dos motoristas as seguirem as disciplinas e regras da estrada tendo por sua vez

uma melhor resposta quando se trata de emergências ou situações onde rápidas decisões devem ser tomadas. Os autores propõem um sistema com o objetivo de tornar as VANETs mais seguras e eficientes através do uso de dispositivos de transmissão de dados. O sistema baseia-se em um dispositivo LED assim como um transmissor RF, que é responsável por enviar a informação ao próximo veículo e uma unidade LCD que é responsável por apresentar os resultados ao motorista. As simulações realizadas com esse sistema permitiram constatar que para o suporte atual e futuro dos veículos e redes de transporte é necessário que as VANETs sejam auto adaptáveis a falhas e possíveis ameaças além de serem resilientes.

Em (DENG, 2021) argumenta-se que a atual *Internet of Vehicular (IoV)* oferece conectividade à internet para veículos dentro do alcance das redes. No entanto, a conectividade contínua não é garantida devido ao número limitado de Road Side Units (RSUs), uma das principais formas da tecnologia V2I. Como resultado, rodovias muito movimentadas enfrentam problemas de conectividade à internet, resultando em uma troca de informações reduzida entre os veículos e prejudicando a realização de alguns dos objetivos das VANETs. Para lidar com esses problemas, é proposto um esquema de posicionamento dinâmico das RSUs nas rodovias, de modo que a maior parte de sua extensão seja coberta sem perda de conectividade. Esse posicionamento leva em consideração a densidade do tráfego e a distância entre as RSUs e as antenas de celulares, que podem ser usadas como infraestrutura para a comunicação nas redes.

De acordo com (SALEEM; MITTON; LOSCRI, 2021a), um aspecto crucial que muitas vezes é negligenciado nos estudos relacionados a novas tecnologias para *IoT* é a descarga de informações e a qualidade do serviço (*QoS*). Para abordar essas questões, os autores propuseram um sistema para a descarga de informações em VANETs, o *DIVINE*, cujo principal objetivo é descarregar informações para as RSUs o mais rápido possível. O sistema também é responsável por decidir quais informações serão descarregadas por meio de V2V ou V2I, levando em consideração detalhes como o tipo de informação e sua prioridade. Assim, as informações mais importantes chegam aos locais corretos da maneira mais rápida, possibilitando uma tomada de decisão mais precisa e segura, garantindo a satisfação dos requisitos de *QoS*.

Ainda foi proposto por (SALEEM; MITTON; LOSCRI, 2021b), um sistema destinado à detecção de comportamentos anormais em veículos na estrada, exemplificados por paradas bruscas ou direção fora das normas de trânsito. O sistema se utiliza do 5G e da *IoT* para manter uma rede de informações dos veículos na estrada e, assim, analisar e refinar informações relacionadas à localização e às intenções dos motoristas por meio de algoritmos. Com o auxílio de câmeras que capturam a movimentação do motorista, a faixa em que o veículo está e sua velocidade, o sistema pode determinar se o veículo está se comportando de maneira anormal e se violou algum regulamento da estrada.

Conforme (CHOI et al., 2021), utilizando uma arquitetura de codificador-decodificador *Random Forest (RF)* e memória de longo e curto prazo, *Long Short-Term Memory (LSTM)*, os autores propuseram um modelo de previsão de grade que emprega *RF* para prever a intenção do

Sensor Vehicle (SV) de mudar de faixa e estabelecer a localização horizontal da malha. A trajetória do *SV* é então prevista, e a localização vertical da grade é determinada usando a arquitetura do codificador-decodificador *LSTM*. Os sensores veiculares utilizaram um carro equipado com um dispositivo de comunicação *V2V*, sensor de câmera e *LIDAR* para registrar o conjunto de dados que seria usado para treinar o modelo de previsão proposto. O modelo sugerido, que utilizaria a grade criada para prever a trajetória de outros sensores veiculares. A eficácia de um *Collision Warning System (CWS)* é baseada em sua posição lateral prevista, e de acordo com os resultados, o modelo proposto atende bem às necessidades da estrada.

Em (MAGLOGIANNIS et al., 2022) nos é fornecida uma comparação dos vários métodos de comunicação *V2X* que utilizam *hardware* padrão do setor em um ambiente de rodovia realista. As tecnologias *4G C-V2X Uu* de longo alcance e *C-V2X PC5 e ITS-G5* de curto alcance foram comparadas para vários *Key Performance Indicator (KPIs)*, incluindo, perda de pacotes, latência unidirecional E2E e intensidade do sinal. Vários parâmetros de configuração, incluindo o canal de frequência operacional na banda de 5,9 GHz para as tecnologias de curto alcance, intervalo de transmissão de pacotes e tamanho do pacote, foram considerados para a avaliação dos *KPIs*. Eles levaram em consideração fatores relacionados à transmissão (transmissões simultâneas de várias tecnologias *V2X*, tamanhos de pacotes, intervalos de transmissão), fatores ambientais da rodovia (densidade de tráfego, obstáculos, curvaturas das ruas) e fatores climáticos. Fizeram isso utilizando sua estrutura de gerenciamento de comunicação *CAMINO V2X* desenvolvida internamente. Os resultados indicam que, para a grande maioria dos testes, o *C-V2X PC5* oferece um alcance maior do que o *ITS-G5*. Por outro lado, devido à forma como as duas tecnologias usaram diferentes técnicas de acesso ao canal, o *ITS-G5* oferece menor latência do que o *C-V2X PC5*. No entanto, ambas as soluções fornecem uma latência inferior ao limite de 100 ms necessário para serviços e aplicativos de segurança *ITS*. Os resultados também demonstraram que muitas vezes não há perda de pacotes no link de comunicação 4G de longa distância.

Em (TORRES; SILVA; FILHO, 2021) os autores apresentaram uma análise de *Long Range (LoRa)* em contraste com a tão utilizada *Dedicated Short Range Communication (DSRC)*. De acordo com o autor, embora *LoRa* seja conhecida como uma solução para Internet das Coisas em geral, sua funcionalidade na comunicação *V2V* ainda é muito pouco estudada. Sua análise, portanto, procura auxiliar a lacuna sobre a performance do uso de *LoRa* quando se trata de aplicações *V2V e V2I*. Ao criar testes com a parada de dois veículos foi denotado que mesmo com a capacidade limitada de transmissão e pequeno tamanho de mensagens transmitidas, *LoRa* apresenta grande versatilidade mesmo em um ambiente urbano denso. Seu *hardware* simples e enorme aplicabilidade torna o uso de *LoRa* uma opção viável e satisfatória.

No trabalho de (MEHMOOD et al., 2017) traz a intenção de suprir a necessidade de um protocolo de roteamento que atenda as necessidades das crescentes tecnologias veiculares, os autores (10) propõem o uso de um esquema de um inteligente Naive Bayes, prática de estimativa probabilística para fluxo de tráfego em prol de formar estabilidade em clustering

no VANET, nomeado ANTSC. O algoritmo de *machine learning*, Naive Bayes, é classificado como um aprendizado supervisionado pois é estabelecido a partir de previsões de observações preestabelecidas. A técnica proposta baseia-se em primeiramente, no algoritmo de seleção de Cluster Head e clustering é iniciado. O cluster head é determinado pela medição de peso de tráfego, que por sua vez é calculado dado o número de carros vizinhos pelo total fluxo de veículos, a densidade do veículo, direção, distância e sua conectividade também são parâmetros para a escolha. O modelo de clustering consiste de inicialização, junção, algoritmo de seleção de cluster head, desconexão de curto prazo de cluster head, procedimento de saída, procedimento de fusão, procedimento de não fusão, procedimento de saída de todos os veículos membros do cluster e o procedimento para desistir da função cluster head. Sendo usado sempre o fluxo de maior densidade visando maior estabilidade do cluster, foi encontrado que de o algoritmo proposto por eles quando comparado com outros algoritmos supera-os na capacidade de estabilidade e na longevidade (*lifetime*) de ambos o *cluster* e o *cluster head*.

O autor (ABBAS et al., 2020) baseando-se na comunicação V2V e V2I, desenvolveu um grande trabalho com base no protocolo IEEE 802.11p, que utiliza a técnica de *Carrier sense multiple access/collision avoidance (CSMA/CA)* para moderar o controle da colisão de pacotes, pois a técnica CSMA é baseada em contenção e não era voltada para redes VANETs. Ele relata no trabalho que, o tráfego altamente dinâmico de uma rede V2V pode causar latências de transmissão incertas e pode não atender aos requisitos de pontualidade e confiabilidade de dispositivos de sistema de transporte inteligente (ITS). Em contraste, a comunicação V2V que permite a comunicação direta em links associados próximos, oferece uma solução otimista para conexões VANETs estáveis. Em comparação com as soluções V2V ad-hoc, os links V2V podem facilmente alcançar a entrega confiável de mensagens e o emprego de recursos organizados, investigando a ampla existência de uma infraestrutura V2X inteligente centralizada. No entanto, a presença do link V2V, complementado por uma estrutura V2X central, oferecerá propagação direta de mensagens próximas, reduzindo significativamente o consumo de energia e a latência, portanto apropriado para comunicações V2V baseadas em latência.

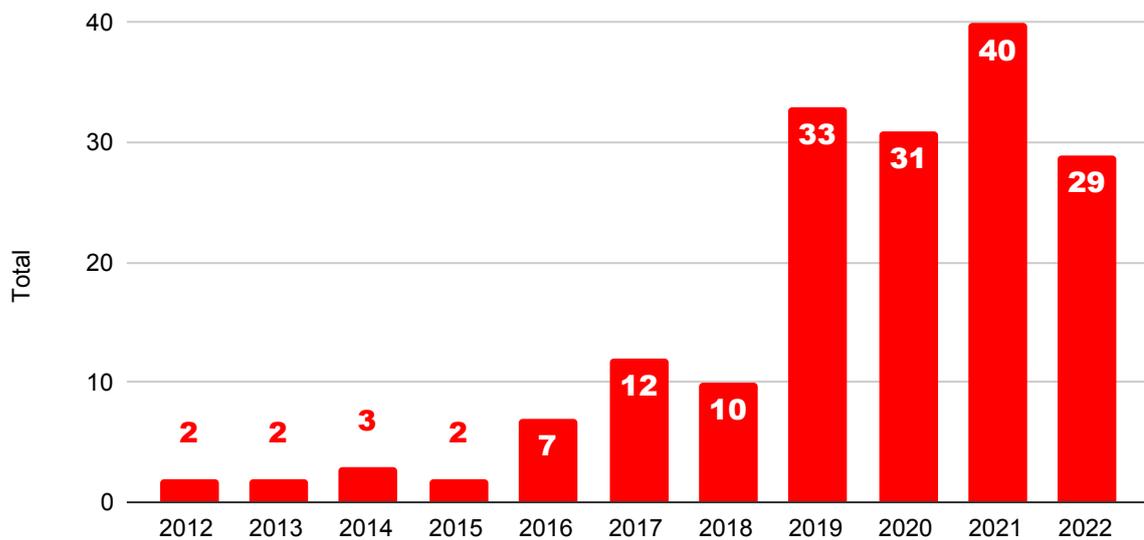
Para (XU et al., 2019) uma melhora nas condições de tráfego cada vez mais lotadas, surge a internet dos veículos (*IoV*). No *IoV*, o aumento das aplicações de veículos inteligentes produz tarefas intensivas em computação para veículos. No entanto, é difícil para os veículos atenderem minuciosamente às demandas exigidas pelas tarefas devido à capacidade limitada de computação implantada nos veículos. Para enfrentar esse desafio, a comunicação veículo-para-tudo (*V2X*) é uma tecnologia promissora para suportar tarefas de transmissão de computação de borda em veículos. Ao empregar comunicação veículo-infra-estrutura (*V2I*) e comunicação veículo-veículo (*V2V*), o veículo de origem busca as rotas viáveis de descarregar as tarefas de computação para o nó de borda (EN). Neste artigo, propõe-se um método de descarregamento de computação que emprega a tecnologia V2X para transmissão de dados em computação de borda, chamado V2X-COM. Tecnicamente, o roteamento das tarefas de computação é determinado primeiro. Em seguida, o algoritmo genético de classificação não dominado III (NSGA-III) é adotado para gerar

estratégias equilibradas de descarregamento. Além disso, a ponderação aditiva simples (SAW) e a tomada de decisões de múltiplos critérios (MCDM) são empregadas para buscar a estratégia ideal de descarregamento. Finalmente, avaliações experimentais são realizadas para comprovar a validade do V2X-COM.

3.6 Resultados e Discussões

Baseado nas pesquisas e nos artigos coletados para este mapeamento foi possível gerar um gráfico que nos mostra a quantidade de trabalhos publicados a respeito do tema pesquisado, como mostrado na Figura 8:

Figura 8 – Publicações por ano



Fonte: Autoria própria 2023

Através do gráfico apresentado na Figura 8 é possível perceber a diferença na quantidade de pesquisas e artigos construídos nos últimos 4 anos se comparados aos demais, isso deve-se a um aumento exponencial no interesse pelas tecnologias de VANETs, a evolução das mesmas e em suas possíveis aplicações nos diversos meios tecnológicos envolvidos, principalmente no quesito de sensores e equipamentos de borda.

Na tabela 6 e 7 podemos ver o resultado das questões de pesquisa, questões estas que motivaram a criação do mapeamento sistemático.

Entre os artigos selecionados, aproximadamente 60% não possuíam resposta para a questão IV (Quais os fatores humanos que influenciam esse tipo de sistema) e 14% não conseguia

responder a questão II (Quais os desafios encontrados na implementação dessa solução). Todas as demais perguntas tiveram respostas em 100% dos artigos.

A Tabela 6 apresenta as respostas para as três primeiras questões de pesquisa:

QP1. Quais as tecnologias mais promissoras para esta implementação? QP2. Quais os desafios encontrados para implementar esta solução? QP3. Qual o tipo de infraestrutura que pode prover apoio aos sensores?

Com relação a (QP1), os autores citaram principalmente as tecnologias de IoT e 5g, mostrando que ambas estão em pleno desenvolvimento e que serão a métrica futura, com sua alta disponibilidade, versatilidade e baixo consumo energético. As tecnologias móveis possuem dentro do escopo de redes, uma largura maior de banda e uma menor latência. Essas tecnologias aliadas ao conceito de Road Side Units (RSUs), formam a nova tendência para redes veiculares.

Os principais desafios encontrados nos artigos pesquisados, vieram a ser problemas de comunicação, seja pela baixa latência dos sinais devido a terrenos irregulares ou em áreas de sombra, fatores externos como qualidade dos equipamentos utilizados tanto nos veículos como nas infraestruturas fixas, também tornam-se uma barreira a ser vencida, pois uma baixa confiabilidade dos sistemas envolvidos torna-se um ponto altamente negativo em VANETs. O choque de informações em vias muito movimentadas devido a grande quantidade de transmissões acontecendo ao mesmo tempo, é um outro desafio futuro a ser vencido, pois as tecnologias atuais ainda não conseguem corresponder as necessidades de redes veiculares complexas.

A Tabela 7 apresenta as respostas para as questões de pesquisa 4 e 5, que são respectivamente:

QP4. Quais os fatores humanos que influenciam esse tipo de sistema?

A maioria dos artigos não chega a citar a importância humana em relação a tecnologia, o que é um ponto a se considerar, porém aqueles que vieram a citar, possuem um ponto em comum que são às características individuais do motorista e que podem afetar o desempenho das tecnologias envolvidas. A tendência de aceitar ou não as sugestões entregues pelos equipamentos disponibilizados, o modo de comportamento na estrada, a utilização de aparelhos eletrônicos enquanto dirige, motoristas com comportamentos de segurança problemáticos e em qual velocidade os mesmos conduzem o veículo, tornam qualquer cenário disponível, instável, pois as tecnologias precisam ser integradas de forma consciente e segura ao dia a dia dos mesmos.

QP5. Em que estágio se encontram estas tecnologias?

Em relação a questão V apenas 26,7% dos artigos analisavam tecnologias que estavam apenas na fase de desenvolvimento, enquanto 46,6% dos artigos citava tecnologias em estado funcional e os demais ainda em estado de testes 26,7%, entre esses artigos também se observou a menção a algumas tecnologias que são consideradas promissoras para múltiplas áreas da tecnologia como a IA e as tecnologias de comunicação 5G e 6G, a maioria já em estado funcional.

Os artigos que foram encontrados através da pesquisa foram catalogados e listados de acordo com seu ano de publicação e sua base de pesquisa, sendo 2021 o ano no qual a maior parte dos artigos foi publicado com um total de 23,4% de todos os artigos e a base de pesquisa científica Web of Science sendo a maior fornecedora dos mesmos com um total de 25,7%.

Tabela 6 – Questões de Pesquisa: Q1, Q2, e Q3

Q1 - Tecnologias	Q2 - Desafios	Q3 - Tipo de infraestrutura
DSRC, RSU, HMI	Conformidade dos motoristas com as recomendações	RSU (Roadside Units)
Arduino Nano, LEDs, Sensores IoT.	Qualidade do equipamento	V2V, CSP
RSU, UAVs	Conectividade limitada	RSU.
Divine	Tempo de resposta	V2V, RSU
5G, IA, IoT.	não mencionado	Video detection
SDNi-MEC	Como encontrar os melhores caminhos para VANETs, como ter uma transmissão confiável	Rede celular, RSU
Lidar	Falha ocasional no reconhecimento de SV em áreas onde a comunicação V2V não é possível	Dispositivo de comunicação V2V, camera sensor.
ITS-G5, C-V2X PC5.	Colisões entre múltiplas transmissões ou limitações no lado do hardware ou firmware do módulo comercial ITS-G5	V2I, RSU
LoRa, SF7 e sf12	Limites de recepção de equipamentos de acordo com distância e geologia	V2V, V2I, CAMINO Framework
ANTSC, 5G.	Processo de seleção do servidor do cluster e sua estabilidade	WAVE, RSU, OBU.
VANETs	Informações de localização imprecisas	V2V, fusão de dados, rádio e medição de distância
AI, 6G, IOT, Deep Learning	Não mencionado	Múltiplas técnicas baseadas em redes neurais convolucionais (CNN), incluindo VGG16, VGG19, Densenet e Openpose
5G-NewRadio	Desafios de comunicações e mobilidade.	V2X, 3GPP, DSRC, LTE-V2X, 5G-V2X
Esquema de gerenciamento de recursos	Rastreie a rápida diversidade de canais devido à alta mobilidade e densidade	V2I,V2V
IoV, Mobile edge comp., V2X-COM, 5G, NSGA-III	Calcula tarefas e diminui a insuportável latência causada pela distância relativamente longa entre os veículos e a nuvem	V2X, smart cameras, atuadores

3.7 Conclusão

Muitos são os desafios encontrados na implementação de sistemas em tempo real, principalmente aqueles que envolvem transações de dados em alta velocidade e dos quais resultam a integridade física dos elementos envolvidos.

Nos últimos anos, com o desenvolvimento de veículos inteligentes e as tecnologias de redes de sensores sem fio, a pesquisa em segurança viária tem atraído muita atenção em redes

Tabela 7 – Questões de Pesquisa: Q4 e Q5

Q4 - Impacto de fatores humanos	Q5 - Estágio de evolução das tecnologias
Conformidade dos motoristas	Funcional em desenvolvimento
Comportamento em condução	Testado e aprovado
Não mencionado	Desenvolvimento
Velocidade de condução	Funcional em desenvolvimento
Comportamento em condução	Funcional
Não mencionado	Testado
Comportamento em condução	Testado
Não mencionado	Desenvolvimento
Não mencionado	Funcional em desenvolvimento
Uso de smartphones enquanto dirige e outros comportamentos problemáticos	Desenvolvimento
Não mencionado	Desenvolvimento
Não mencionado	Funcional em desenvolvimento

veiculares *ad hoc* (*VANETs*). Podemos exemplificar por essas pesquisas, modelos de detecção de eventos na estrada, onde veículos envolvidos podem transmitir informações para outros veículos ou pessoas sobre congestionamento, acidentes ou terrenos geograficamente interrompidos. No entanto, a rede de veículos móveis tem um grande atraso de transmissão, o que impõe diversos desafios à comunicação em tempo real.

As comunicações entre veículos e infraestrutura (*V2I*) são o paradigma emergente para o *Intelligent Transportation System* (*ITS*) usado para aumentar a eficiência do tráfego e a confiabilidade da entrega de dados em tempo hábil.

Apesar dos avanços tecnológicos e as necessidades sociais envolvidas, ainda é necessário grandes avanços na área de *IoT* e redes veiculares baseadas em sensores, enquanto as mesmas baseadas em sua proposta de criação possuem falhas de latência e de interrupção de sinal, por outro lado a introdução de uma infraestrutura adequada e baseada em respostas de tempo real e ampliação de sua área de serviço surge como um grande modelo de apoio e de complemento as carências de respostas dos sensores, uma vez que bem conduzidas, ambas as tecnologias podem juntas encontrar as soluções para as limitações encontradas, podemos averiguar neste trabalho que diversas tecnologias vem sendo desenvolvidas tanto a nível de *hardware* quanto a nível de *software*.

A criação futura de protocolos específicos e ou adaptados para as *VANETs*, possuirão uma alta relevância junto as tecnologias empregadas, pois os mesmos podem auxiliar este tipo de rede de forma mais síncrona junto as estruturas de *Edge Computing*. Com o auxílio de novos microchips, 5G ou até mesmo 6G, as tecnologias móveis e os protocolos desenvolvidos tornarão possível que as redes *VANETs* tornem-se uma tecnologia primordial nas cidades do futuro. Testes de *benchmark* e simulações, aliados a eficiência de novos hardwares de borda trarão as respostas a todas às lacunas ainda encontradas no presente momento.

4

Modelo de Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

Para que os estudos em que serão utilizados simuladores em topologias de *VANETs* sejam os mais precisos possíveis, torna-se necessário o conhecimento de alguns modelos e parâmetros mais utilizados nas rodovias, neste caso foram escolhidos os do Brasil e dos Estados Unidos. Neste capítulo conheceremos os modelos (AASHTO e DNIT) que trazem recomendações de distância e visibilidade em ultrapassagens nos projetos geométricos rodoviários. No Brasil o DNIT utiliza valores de parâmetros em distâncias de visibilidade de ultrapassagem - DVUs, e que se baseiam em normas norte-americanas. Apesar de que, o manual do DNIT não sofre atualizações desde 1999 e continua sendo a referência no país. Por outro lado, a AASHTO reformulou seu modelo de distância de visibilidade de ultrapassagem em 2018, com base em estudos observacionais de campo, para levar em conta as mudanças na dinâmica veicular e no comportamento do motorista ao longo dos anos.

Nesses modelos um item de grande valia é o que se refere aos fatores humanos, pois baseados no comportamento dos condutores as probabilidades de ocorrências de acidentes podem sofrer diversas mudanças. O conceito de distância de visibilidade de ultrapassagem é outro fator que será apresentado, dando ênfase ao modelo DNIT pois é o modelo referencial das estradas brasileiras. Para um melhor entendimento serão explicados esses fatores e modelos, baseando-se na literatura até então publicada e estudada.

Como falhas humanas são inevitáveis, devem ser empregadas estratégias apropriadas que contribuam para a redução da probabilidade da ocorrência das mesmas, sejam através de leis ou sejam através da educação no trânsito, esta seria uma forma de diminuir as causas impactadas pelo fator humano (BEZERRA, 2012).

Segundo (BEZERRA, 2012), os acidentes de trânsito são fenômenos multifatoriais, evitáveis e não intencionais, que envolvem um veículo utilizado na hora do acidente, principalmente para o transporte de pessoas ou de mercadorias, ocorrendo na via pública, podendo envolver pedestre ou motorista, bem como diferentes tipos de veículos.

Em um sistema de tráfego existem três elementos principais: a via, o veículo e o usuário. Sendo atribuído como falha do elemento humano 90% dos acidentes registrados (NODARI; BOTTESINI, 2011).

O comportamento do motorista é um fator decisivo em momentos onde sua atenção pode ou não ser a causa de acidentes que envolvem um ou mais veículos. Dados esses elementos é válido mensurar fatores como: excesso de confiança por parte do motorista, baixa visibilidade e diferença de velocidade entre os veículos envolvidos.

Os fatores humanos em acidentes possuem as variáveis que definem o comportamento de motoristas nas estradas (o nível de experiência, de fadiga, de atenção, etc.), e que combinados a outras variáveis, tais como, (geometria da estrada, veículo, meio ambiente, tráfego) produzem erros que se traduzem em colisões (P. NAING; ENGEL, 2008).

4.0.1 Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

O artigo 199 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), conceitua que: uma ultrapassagem é quando se passa um veículo que se desloca na mesma direção, porém em uma velocidade inferior e na mesma faixa de tráfego, sendo necessário sair e depois retornar para a faixa de origem ((DNIT), 1999).

A distância de visão da rodovia é uma medida da visibilidade da estrada, que é um fator importante na avaliação da segurança rodoviária. Uma maior visibilidade pode proporcionar aos motoristas mais tempo para evitar acidentes e conflitos, facilitando uma operação segura e eficiente. No entanto, a baixa visibilidade pode reduzir a capacidade do motorista de reagir às mudanças nas condições e é um fator significativo em acidentes rodoviários e quase colisões (BEKHOR, 2009).

A Distância de Visibilidade de Ultrapassagem – DVU, é um dos parâmetros geométricos que compõe o conjunto de elementos que garantem a segurança viária. Quanto maior a DVU, maior a segurança da rodovia. Assim, o projetista deve sempre procurar soluções eficientes que permitam que o condutor tenha condições de efetuar a ultrapassagem de veículos lentos. Porém, estabelecer um critério adequado para o cálculo de distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) é uma tarefa difícil, pois os motoristas podem reagir de formas diferentes quando decidem ultrapassar um outro veículo (AURENICE, 2019).

É necessário também ter o conhecimento do conceito de *Time to Collision – TTC*, que significa o valor do tempo obtido dividindo a distância longitudinal (na direção da viagem do veículo em questão) entre o veículo em questão e o alvo pela velocidade relativa longitudinal do veículo em questão e o alvo, em qualquer instante de tempo. Em uma ultrapassagem é necessário ter ao menos a noção do tempo de colisão (TTC – Time to Collision), porém ele é irrelevante quando o fator humano despreza as seguintes condições: velocidade dos veículos próximos, posição e tamanho dos veículos próximos e a capacidade de manobra do veículo e do condutor.

Portanto, quanto melhor for a DVU maiores são as chances de uma ultrapassagem segura.

A manobra de ultrapassagem é uma das mais arriscadas em uma estrada porque a ação a ser executada depende de uma quantidade substancial de fatores, tais como: estado atual do veículo, posição e velocidade dos veículos do entorno, além do desempenho do condutor. No caso de pista simples bidirecional é necessário que existam trechos com visibilidade suficiente para que os veículos mais rápidos possam ultrapassar os mais lentos.

A distribuição do tempo de avanço tem sido um tópico de pesquisa porque o avanço entre veículos é uma característica importante do fluxo que afeta a segurança, o nível de serviço, o comportamento do motorista e a capacidade de um sistema de transporte. No entanto, as pesquisas relatadas sobre o avanço estão focadas no fluxo veicular misto, sem considerar a diferença no avanço em relação aos diferentes tipos de veículos (ZHANG; ZHANG; LIU, 2019).

4.0.2 Modelo DNIT/AASHTO 2004

Existem critérios para que um veículo realize uma distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU), e esse critério mínimo é recomendado e apresentado no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) que baseia-se na norma americana “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets” (Green Book), da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) e que foi alterado na versão do Green Book de 2018.

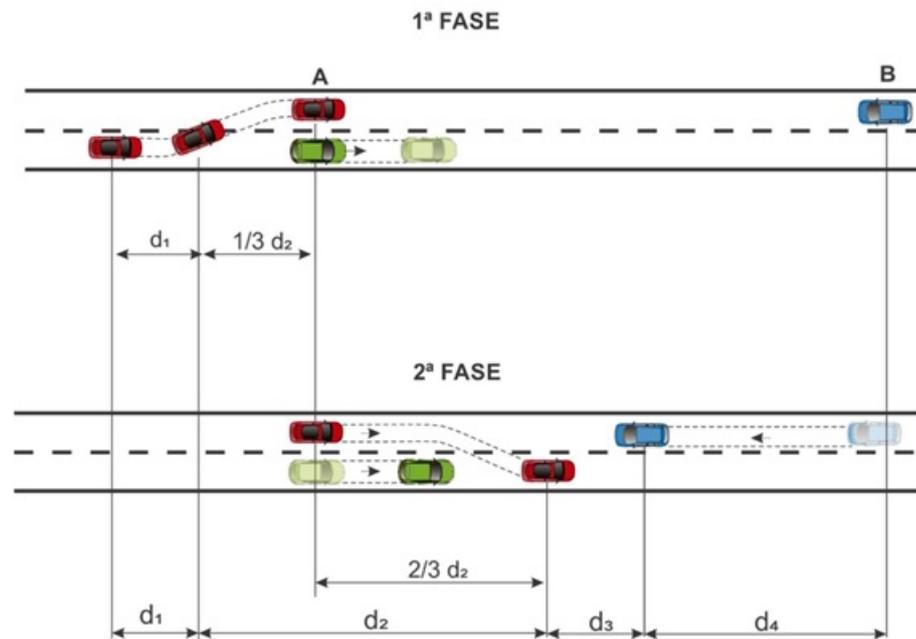
O Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas tem como objetivo reunir a informação necessária para a elaboração dos projetos geométricos de travessias urbanas por rodovias federais, de acordo com as normas em vigor no País ((DNIT), 1999).

Para calcularmos as distâncias mínimas de ultrapassagem torna-se necessário o somatório de quatro distâncias e as seguintes condições:

- Veículo lento (VL) para ser ultrapassado deve possuir velocidade constante.
- Veículo rápido (VR), aquele que ira ultrapassar devera estar logo após veículo VL e permanecer com sua velocidade igual quando atinge o ponto inicial (PI) de ultrapassagem.
- Quando atingir o ponto inicial o VR precisará de um minimo de tempo para perceber a possibilidade de ultrapassar ou não e iniciar a manobra.
- O veículo VR acelera durante a manobra e sua velocidade média durante o período em que está na faixa esquerda é 15 km/h (DNIT, 1999; AASHTO, 2004), maior que a do veículo VL.
- Quando VR volta para a sua faixa inicial devera haver uma distância razoável do veículo que vem em sentido contrário.

A Figura 9 ilustra o esquema da manobra de ultrapassagem e apresenta os elementos que compõem a distância total de visibilidade de ultrapassagem, onde:

Figura 9 – DVU



Fonte: Adaptado de DNIT apud Eurenice (1999)

d_1 : distância percorrida durante o tempo de percepção e reação, bem como durante a aceleração inicial até o ponto de invasão da faixa esquerda, é a mesma.

d_2 : distância percorrida pelo veículo rápido (VR) que encontra-se na a faixa a esquerda;

d_3 : distância entre um veículo rápido (VR) e um veículo em sentido oposto (VO) ao termino da manobra.

d_4 : distância percorrida pelo veículo em sentido oposto (VO), equivalente a $2/3$ da distância de d_2 .

A distância de manobra inicial (d_1) divide-se em duas partes: tempo de percepção e reação e o intervalo em que VR move-se em direção ao ponto de invasão na faixa esquerda. Em grandes extensões esses dois tempos se sobrepõem. De acordo com estudos, a aceleração média no início da ultrapassagem é geralmente inferior ao potencial máximo, o que sugere que há um componente de tempo de percepção e reação envolvido nessa manobra inicial. No entanto, alguns condutores podem permanecer na mesma posição enquanto decidem se devem ou não realizar a ultrapassagem. A posição precisa do veículo durante essa manobra inicial não é considerada um fator importante, uma vez que as diferenças observadas não são significativas para a distância final de ultrapassagem (AURENICE, 2019).

Vale lembrar que diferentes aspectos e conteitos podem apresentar valores diferentes para as várias distâncias aqui citadas, os valores do DNIT são uma referência obtida da AASHTO, que, em 2004 realizou estudos para estas mesmas distâncias em que foram obtidos valores de: distância em que o VR ocupa a faixa da esquerda (d_2), entre 9,3 e 10,4 segundos, distância

de folga (d_3) entre VR e VO, após conclusão da ultrapassagem pode variar de 30 a 75 metros, dependendo da velocidade média do veículo rápido.

Para minimizar o risco de colisão com o veículo oposto durante a manobra de ultrapassagem, a distância percorrida pelo veículo oposto durante essa manobra (d_4) é adicionada à distância total de ultrapassagem. Durante a primeira fase da manobra de ultrapassagem, o veículo rápido ainda não se aproximou do veículo mais lento e, mesmo que esteja ocupando a faixa da esquerda, o condutor pode voltar à faixa da direita se um veículo oposto for avistado. Esse tempo não é contabilizado na distância total percorrida pelo veículo oposto e corresponde a 1/3 do tempo em que o veículo rápido ocupa a faixa da esquerda. Portanto, a distância d_4 é igual a 2/3 da distância percorrida pelo veículo rápido na faixa da esquerda (d_2), considerando que a velocidade do veículo oposto é a mesma do veículo rápido. A equação para cálculo de DVU bem como a explicação da mesma é exibida na figura 10:

Figura 10 – Equação para DVU

$$d_1 = 0,278 t_1 \left(v - m + \frac{at_1}{2} \right)$$

$$d_2 = 0,278 vt_2$$

$$d_3 = 30 \text{ a } 75 \text{ metros}$$

$$d_4 = \frac{2}{3} d_2$$

Onde:

t_1	(s)	tempo da manobra inicial
a	(km/h/s)	aceleração média
v	(km/h)	velocidade média do veículo rápido
m	(km/h)	diferença de velocidade entre o veículo rápido e o veículo lento
t_2	(km/h)	tempo em que o veículo rápido ocupa a faixa da esquerda
d_2	(m)	distância percorrida ocupando a faixa da esquerda

Fonte: Autoria própria 2023

Na Figura 11 encontram-se os valores de ultrapassagem para as velocidades de 30 km/h a 120 km/h que constam no Manual de Projeto Geométrico do DNIT (1999).

Os projetos de sinalização para delimitação das linhas de proibição de ultrapassagem seguem as diretrizes de distância mínima de visibilidade apresentadas na Figura 12, que estão presentes tanto no Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010) quanto no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV, 2007a (CONTRAN, 2007).

Na Figura 13 podemos ver as mesmas distâncias agora sendo estabelecidas pelo, (*Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* - Manual de Dispositivos Uniformes de Controle de Tráfego para Ruas e Estradas dos Estados Unidos).

Figura 11 – Manual Projeto Geométrico

Tabela 1 – Distância de visibilidade de ultrapassagem do Manual de Projeto Geométrico.

Velocidade regulamentada (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	180	270	350	420	490	560	620	680	730	800

Fonte: DNIT (1999)

Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 12 – DVU para sinalização

Tabela 2 – Distância de visibilidade de ultrapassagem do Manual de Sinalização.

Velocidade regulamentada (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	140	160	180	210	245	280	320	355

Fonte: CONTRAN (2007a) e DNIT (2010)

Fonte: Autoria própria 2023

Figura 13 – DVU para sinalização EUA

Tabela 3 – Distância de visibilidade de ultrapassagem no MUTCD.

Velocidade regulamentada (km/h)	40	50	55	65	70	80	90	95	105	110
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	137	152	167	183	213	244	274	305	335	366

Fonte: FHWA (2012)

Fonte: Autoria própria 2023

Nas figuras acima pode-se verificar que diferentes normas e manuais podem utilizar-se de critérios diferentes para o mesmo tipo de cálculo e portanto devem ser adequados aos cenários locais pois a topologia local e o comportamento dos condutores podem gerar mudanças nos esquemas propostos. Por isso nossa pesquisa utiliza-se de valores obtidos em ambos os manuais de DVU.

5

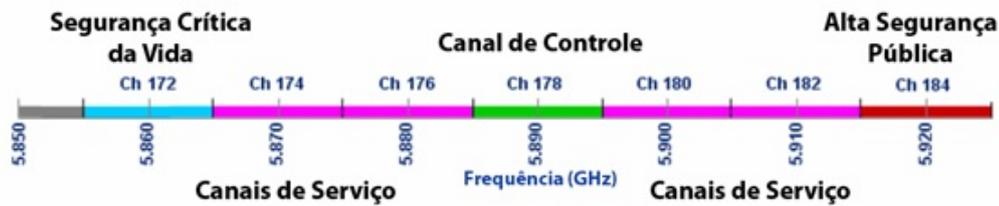
Modelos de Transmissão e Protocolos Utilizados

Nas tecnologias que envolvem o ambiente móvel das Vanets e principalmente naquelas que envolvem redes de sensores em que os mesmos necessitam trocar uma quantidade grande de dados com a menor latência possível, um dos escopos mais propícios é aquele em que se utilizam as tecnologias de rádio frequência, principalmente a tecnologia conhecida como *802.11p* e a mais recente dentre elas a *5G*. Neste capítulo abordaremos ambas as tecnologias, seus pontos negativos e positivos, baseando-se nas necessidades de um modelo para redes veiculares, bem como os protocolos que as auxiliam. As redes *Wi-Fi*, ou redes sem fio são compostas por dispositivos de rede conectados por ondas eletromagnéticas, dispensando a necessidade da infraestrutura física das redes tradicionais. Utilizando essa tecnologia, é possível criar redes que conectam diversos dispositivos, como computadores, *smartphones*, tablets, impressoras e até mesmo veículos, sem a necessidade de cabos. A conexão é feita através de pontos de acesso (AP), sensores ou outros equipamentos, que utilizam a radiofrequência para se conectar a uma rede cabeada, servir como ponto de conexão para outras redes como a Internet ou dispositivos de borda.

Os Estados Unidos em 2008 iniciaram os primeiros esforços para padronizar as redes veiculares. A tecnologia de comunicação sem fio para redes veiculares (*Wireless Access in Vehicular Environments - WAVE*) ainda estava em fase de padronização e o WAVE foi especialmente projetado para atender às necessidades de comunicação de elementos móveis no setor de transportes, com pelo menos um dispositivo móvel envolvido na comunicação. Além disso, outros dispositivos móveis e fixos, como em estradas ou pessoas também estão previstos para a utilização da tecnologia WAVE. Na Figura 14 é exibido O modelo DSR. O termo "Sistema de Comunicações Dedicadas de Curto Alcance" (*Dedicated Short Range Communications - DSRC*) também é usado para se referir ao espectro de rádio associado a essa tecnologia (KENNEY, 2011).

Com o crescente número de veículos equipados com dispositivos móveis, as VANETs estão se tornando cada vez mais importantes. A integração da tecnologia Wi-Fi em veículos

Figura 14 – Canais de Frequência DSRC



Fonte: Adaptado de (JIANG; DELGROSSI apud REIS, Denis 2008)

permite a comunicação entre veículos e a transmissão de informações em tempo real, o que é crucial para melhorar a segurança nas estradas e otimizar o tráfego. No entanto, as redes Wi-Fi apresentam desafios significativos em ambientes de alta mobilidade, como em VANETs, e é necessário desenvolver novas técnicas e protocolos para garantir a confiabilidade e a eficiência da comunicação (ZHANG; ZHANG; LIU, 2019).

5.0.1 Padrão 802.11

O *IEEE 802.11* é um já conhecido conjunto de padrões e especificações para redes sem fio locais – *WLANs*, desenvolvido pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos – IEEE na década de 90. Esses padrões descrevem as especificações técnicas para a transmissão de dados sem fio em diferentes frequências de rádio, permitindo a interoperabilidade de dispositivos de diferentes fabricantes.

Apesar de ser uma tecnologia bem conhecida e de ser propagada em diversos segmentos a 802.11 focada no segmento das *VANETs* é a *802.11p*, padrão esse desenvolvido pensando em uma estrutura desenvolvida especificamente para suportar comunicações entre veículos e infraestruturas rodoviárias. O objetivo da *802.11p* é fornecer comunicações seguras e confiáveis em alta velocidade para melhorar a segurança do tráfego rodoviário e fornecer serviços de informação em tempo real aos usuários nas estradas.

Esse padrão opera em uma faixa de frequência de 5,9 GHz e fornece uma largura de banda de até 27 Mbps. A tecnologia emprega técnicas de modulação específicas para garantir a transmissão segura e confiável de dados em um ambiente de alta mobilidade, como em rodovias.

As *VANETs* com *802.11p* oferecem uma variedade de serviços, incluindo comunicação veículo-para-veículo - *V2V* e comunicação veículo-infrastructure - *V2I*. A comunicação *V2V* permite que os veículos troquem informações em tempo real, como velocidade, direção, localização e estado de tráfego. Já a comunicação *V2I* permite que os veículos se comuniquem com as infraestruturas rodoviárias, como semáforos e sinais de trânsito, para obter informações sobre condições de tráfego e alertas de segurança.

Um dos grandes desafios as tecnologias de comunicação é permitir a troca rápida e confiável de informações entre veículos vizinhos em um ambiente caracterizado por alta

mobilidade e condições de propagação de rádio tipicamente severas. Em particular, o padrão IEEE 802.11p altera o conhecido conjunto de protocolos 802.11 com o objetivo de melhorar a qualidade nas comunicações veiculares. O padrão opera na faixa de frequência de 5,9 GHz e oferece taxas de dados entre 3 e 27 Mbps (RENDA et al., 2016).

5.0.2 Padrão 5G

Com o constante emprego das tecnologias que permeiam a internet e principalmente com a crescente demanda da *IoT*, para as redes sem fio e de uma demanda de inovação em diversos segmentos dessas redes, questões como baixa latência e confiabilidade de transmissão fizeram e fazem surgir a cada dia cada vez mais pesquisas em novos protocolos de transmissão, melhorias e ou adaptações nos já existentes e novos processos de transmissão. Nesse sentido surgiu as tecnologias *4G* e *5G*, na Figura 15, podeos tr uma ideia da evoluçãodessas tecnologias.

Provinda das redes de telefonia móvel de quinta geração (5G) apresentam como principal característica a flexibilidade na alocação de recursos. Portanto, a padronização das redes 5G visa atender aos requisitos de grupos de tecnologias, serviços e aplicações emergentes em relação à latência, taxa de transmissão, número de conexões de dispositivos e extensão da cobertura geográfica (POPOVSKI et al., 2018).

Figura 15 – Comparação das tecnologias 4G e 5G



Fonte: E. Ezhilarasan and M. Dinakaran. 2017.

Com o advento do 5G, novas possibilidades técnicas permitiram a melhoria de performance das aplicações existentes e a criação de novos casos de uso com requisitos mais estritos de latência, taxas de transmissão, disponibilidade e confiabilidade (MENEGUETTE, 2021).

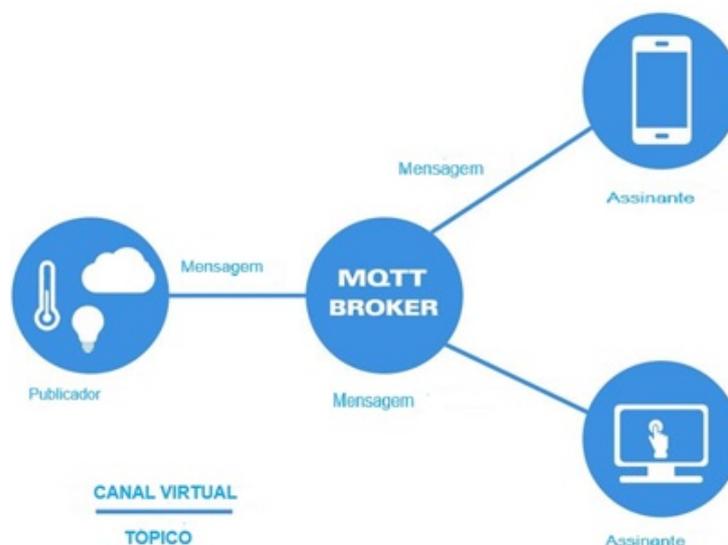
5.0.3 Protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação leve e eficiente projetado para ambientes de rede com poucos recursos, como sensores e dispositivos IoT. Com arquitetura básica e bom sistema mensageiro altamente escalável e confiável em utilizações onde monitoramento e controle são necessários. Uma de suas principais características é o baixo uso da rede e recursos de processamento. Ele também usa uma abordagem (publicar / assinar) fazendo com que o mesmo reduza os recursos de rede por ele utilizados (DINCULEANĂ; CHENG, 2019).

Com o protocolo *MQTT* os dispositivos sensores são clientes que se conectam a um servidor chamado de *broker* usando TCP. As mensagens são transmitidas e publicadas para um endereço (chamado de tópico), que se assemelha a uma estrutura de diretórios em um sistema de arquivos (SONI; MAKWANA, 2017).

Na Figura 16 é mostrado um modelo de funcionamento da arquitetura do protocolo da camada de aplicação, o *MQTT*.

Figura 16 – Arquitetura MQTT



Fonte: Fábio Coelho, 2019. Disponível em: www.novus.com.br

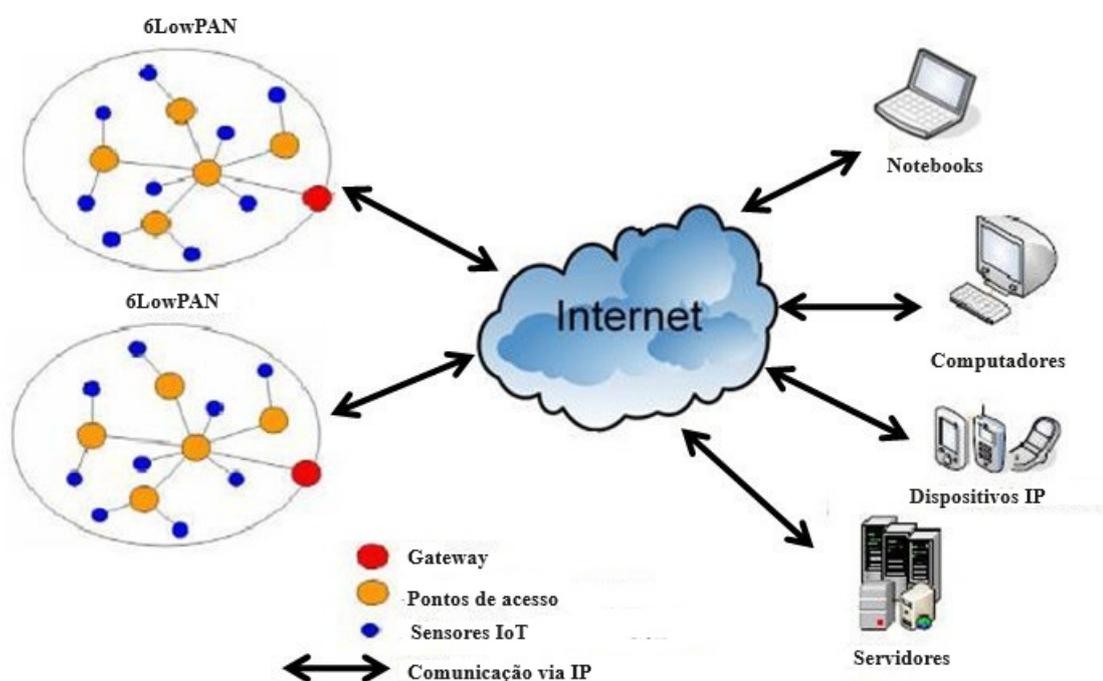
O MQTT possui a capacidade de trabalhar com conexões instáveis ou intermitentes e desta forma os clientes podem se conectar e desconectar dinamicamente sem interromper a comunicação. Além disso, o protocolo suporta três níveis de Quality of Service - QoS para garantir a entrega confiável das mensagens, adaptando-se às necessidades específicas da aplicação (LEE, Shinho et al 213). Esta forma de suporte a diferentes requisitos de QoS constitui-se em uma das maiores vantagens do protocolo *MQTT*. Isso permite uma comunicação confiável até mesmo em uma rede não confiável. Os três modos possíveis de envio são: QoS 0 (não exige garantias de entrega, sendo mais rápido devido à ausência de confirmações), QoS 1 (exige confirmação

simples da entrega, com envio de mensagem de reconhecimento ao emissor original) e QoS 2 (há um mecanismo de confirmação dupla da entrega, onde tanto emissor quanto receptor tem ciência que a mensagem foi entregue e processada apenas uma vez, sem réplicas indevidas). Quando aplicada em VANETs, o modo a ser selecionado precisa ser escolhido de acordo com as necessidades da rede (SASTRY, 2017).

5.0.4 Protocolo 6Lowpan (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks)

É um protocolo que permite o transporte de pacotes IPv6 sobre redes sem fio de baixa potência, especificamente IEEE 802.15.4. Nasceu do conceito de que o protocolo IP poderia ser aplicado até mesmo dispositivos IoT. O objetivo inicial era definir uma camada de adaptação – "IP over Foo" para lidar com os requisitos impostos pelo IPv6. Sua arquitetura utiliza os conceitos usados no IPv6 para criar um conjunto de cabeçalhos que permitem a codificação eficiente de grandes endereços/cabeçalhos em um cabeçalho compactado e menor - às vezes tão pequeno quanto apenas 4 bytes, ao mesmo tempo em que permite o uso de várias redes mesh e suporta fragmentação e remontagem quando necessário. Sua arquitetura é mostrada na Figura 17.

Figura 17 – Arquitetura 6LOWPAN



Fonte: Autoria própria 2023.

De acordo com (TANYINGYONG et al., 2016) a tecnologia 6lowpan (IPv6 sobre redes sem fio de área pessoal com baixa energia) é basicamente uma forma de conectar mais coisas a nuvem, um protocolo feito para auxiliar na IoT de forma que comunicações entre dispositivos

sejam realizadas até mesmo em situações em que os dispositivos não possuem fontes energéticas extensas e utiliza-se de uma tecnologia de identificação que vem sendo desenvolvida a mais de trinta anos.

No trabalho de (TANVEER et al., 2020) é mostrado que, geralmente em redes de veículos e estradas os envolvidos necessitam de dados em tempo real para a tomada de decisões e isso levando em conta que os dispositivos que se tornam responsáveis por essa comunicação quase sempre operam com baixas fontes de energia e portanto necessitam de um protocolo que trabalhe com esses fatores de tempo e energia em conta, aí onde o 6lowpan entra com velocidade de transmissão e baixo consumo de energia pelos dispositivos mesmo que com isso um pouco de sua segurança seja sacrificada.

Em (LEE et al., 2014) foi utilizado 6LowPan em seu projeto para que a comunicação entre os dispositivos na Vanet fosse realizada de forma ininterrupta de forma que os usuários de IPv6 possam se comunicar utilizando o protocolo e assim gerando uma gerência da mobilidade dos veículos na estrada em uma rede rápida e de baixo consumo energético.

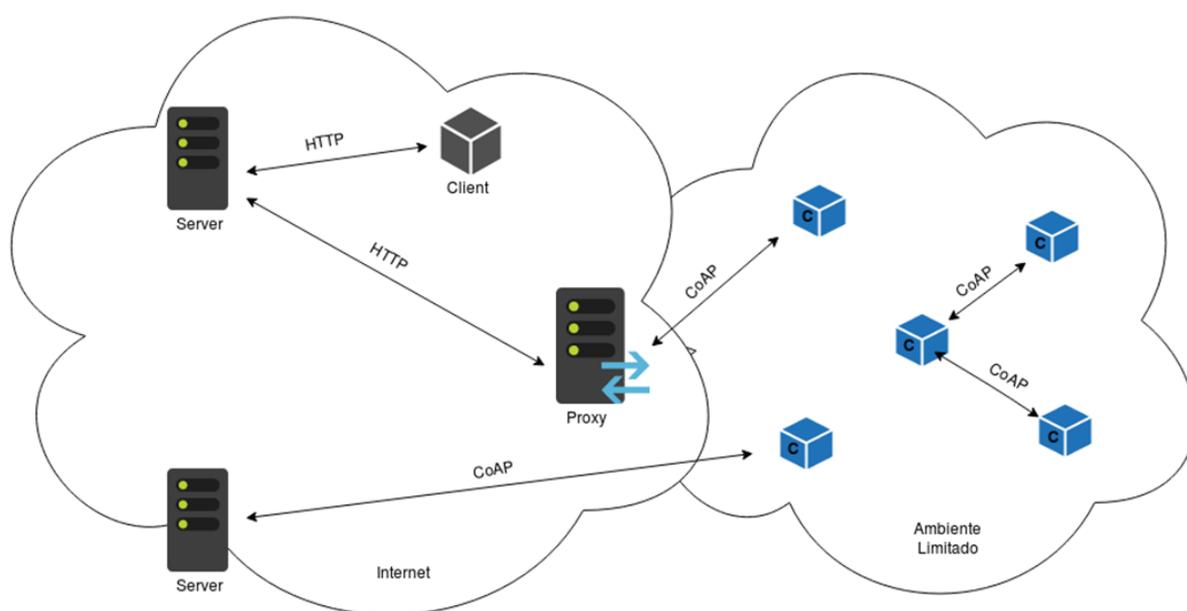
5.0.5 Protocolo COAP (Constrained Application Protocol)

O COAP (Constrained Application Protocol) é um protocolo de aplicação semelhante ao Hyper Text Transfer Protocol - HTTP, projetado para ser mais simples, exigindo menos memória, processamento e, conseqüentemente, energia. Ele fornece uma solução RESTful, seguindo a semântica HTTP, mas com um cabeçalho mais leve e uma abordagem binária em vez de textual, ele é especialmente útil em ambientes com recursos limitados, como dispositivos com energia limitada, links com baixa largura de banda e redes congestionadas ou com perdas. De acordo com (LIN; BERGMANN, 2016)(Lin e Bergmann, 2016), em redes congestionadas o COAP/UDP pode funcionar melhor que o MQTT/TCP, uma alternativa ao COAP, e que pode não ser capaz de gerenciar um handshake completo.

A Figura 18 ilustra o funcionamento da arquitetura do protocolo COAP, na qual uma típica comunicação cliente-servidor com o protocolo HTTP pode ser substituída pelo uso do COAP entre um sensor e um servidor, ou também para o envio de dados de um sensor para outro sensor.

O COAP é um protocolo de comunicação desenvolvido para dispositivos com recursos limitados e redes *Low Power and Lossy Networks* - LLN. Esses dispositivos possuem baixa capacidade de processamento e armazenamento, enquanto as redes LLN apresentam alta taxa de erro e vazão típica de 10 kb/s. O COAP foi projetado para aplicações *Machine-to-Machine* – M2M (SHELBY; HARTKE; BORMANN, 2014).

Figura 18 – Arquitetura COAP



Fonte: Aryane Barros et al., 2019. Disponível em: www.gta.ufrj.br

6

Simulações

Neste capítulo iniciam-se as simulações que irão corroborar com todas as pesquisas e análises feitas até o momento nesta dissertação, para tanto serão utilizados em simuladores os protocolos *IoT*, *COAP*, *MQTT* e *6LowPAN*, juntamente com os protocolos de camada *802.11p*, *802.15.4* e *5G* para alcançarmos o nível de satisfação necessários nesta pesquisa.

Os percursos utilizados nesta simulação foram elaborados com o *framework Veins* e o *software OpenStreetMap*, ambos apoiados pelo *framework SUMO*. Foi gerada uma rodovia aleatória bidirecional em uma rodovia localizada em *Nuremberg* – Alemanha, com um comprimento total entre 5 km a 10 km, onde serão inseridos os nós de rede. Esses nós correspondem a um modelo de escalabilidade que será de: 03, 10, 20, 30, 40 e 50 nós. As informações do ambiente utilizado para as simulações tanto a nível de *Hardware*, *Software* ou de escopo das simulações estão na Tabela 8.

Como métricas serão utilizados os seguintes fatores: latência, *throughput*, perda de pacotes e *jitter*. Para as simulações, foram utilizados dois cenários ambientados em máquinas virtuais com as características mostradas na tabela a seguir:

Como a intenção dessa pesquisa é a de utilizar tais tecnologias em ultrapassagens e quando as mesmas geralmente são mais utilizadas fora do ambiente urbano, o cenário foi dotado de acordo com o escopo proposto a pesquisa. Os nós possuirão velocidades que irão variar entre 80, 90, 100 e 120 Km/h a uma distância de visibilidade de ultrapassagem mínima de 300 metros entre os nós envolvidos.

a simulação foi realizado com velocidades diferentes, por exemplo, o veículo a ser ultrapassado está na velocidade 80 km/h, o veículo que fará a ultrapassagem está em velocidade de 100 km/h e um outro veículo vindo em direção contrária está em velocidade de 110 km/h e ambos devem possuir DVU de 300m.

Na Figura 19 e 20 são mostrados os cenários de simulação no Omnet++, onde também

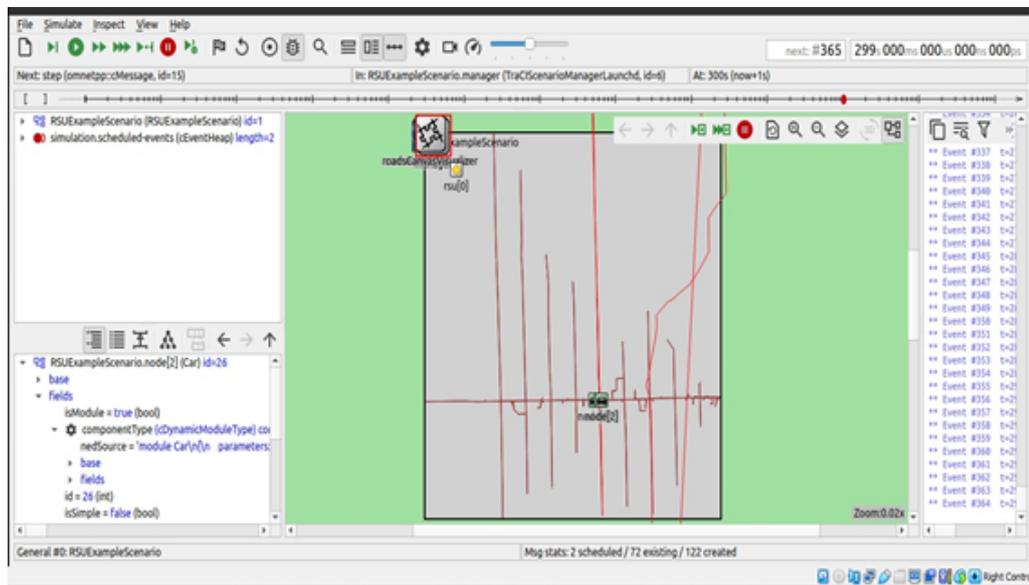
Tabela 8 – Ambiente das simulações

Ambiente de hardware 1	Desempenho computacional 1
Processador	Intel(R) Core (TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz
Disco Rígido	250 GB SSD
Memória	DDR3 8GB
Sistema Operacional	Windows 11 / Debian (VirtualBox)
Sistema Operacional	Windows 11 / Ubuntu (VirtualBox)
Ambiente de Hardware 2	Desempenho computacional 2
Processador	Intel(R) Core (TM) i5-6500U CPU @ 3.20GHz 1.80 GHz
Disco Rígido	1 TB Sata
Memória	DDR3 8GB
Sistema Operacional	Windows 10
Simulador Omnet++	Versão 6.0
Framework Sumo	Versão 1.6.0
Framework Veins	Versão 5.2
Simulador Contiki Cooja	Versão 2.7
Simulador Ns-3	Versão 3.40
Analizador de tráfego Wireshark	Versão 4.0.6
Quantidade de veículos	03, 10, 20, 30, 40 e 50 nós
Distância do cenário	5 a 10 Km
Tempo de simulação 802.11p / COAP / MQTT / 6LowPAN	300 s
Frequência do protocolo 802.11p	5.9 GHz
Cenário da simulação	6000 m bidirecional
Tamanho do pacote	1024 bytes
Tempo de simulação 5G / COAP / MQTT / 6LowPAN	300 s
Frequência do protocolo 5G	5.9 GHz
Cenário da simulação	6000 m bidirecional
Tamanho do pacote	1024 bytes

Autoria própria, 2023

são exibidos os nós em deslocamento na rodovia e na Figura 21 é mostrado o cenário do Contiki Cooja, onde são exibidos os nós da rede e suas conexões em modelo V2V. Por último, na Figura 22 é exibida um cenário de captura de pacotes para teste com o protocolo 6LowPAN, utilizando-se do *Software Wireshark*.

Figura 19 – Cenário criado com o Veins e o Sumo no Omnet++



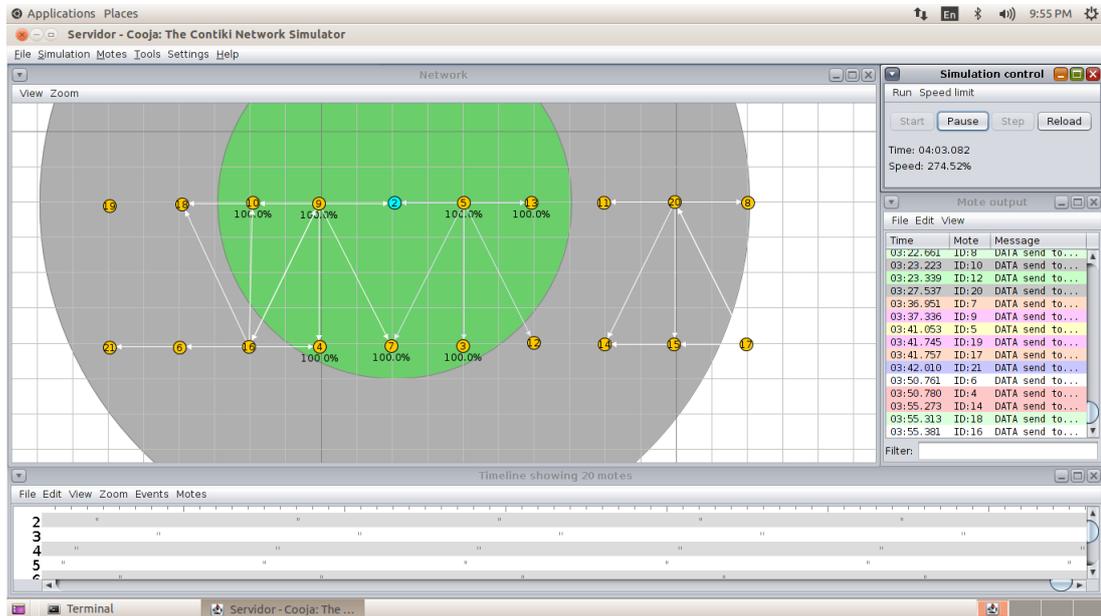
Fonte: Autoria própria 2023

Figura 20 – Cenário de estradas com Veins e o Sumo no Omnet++



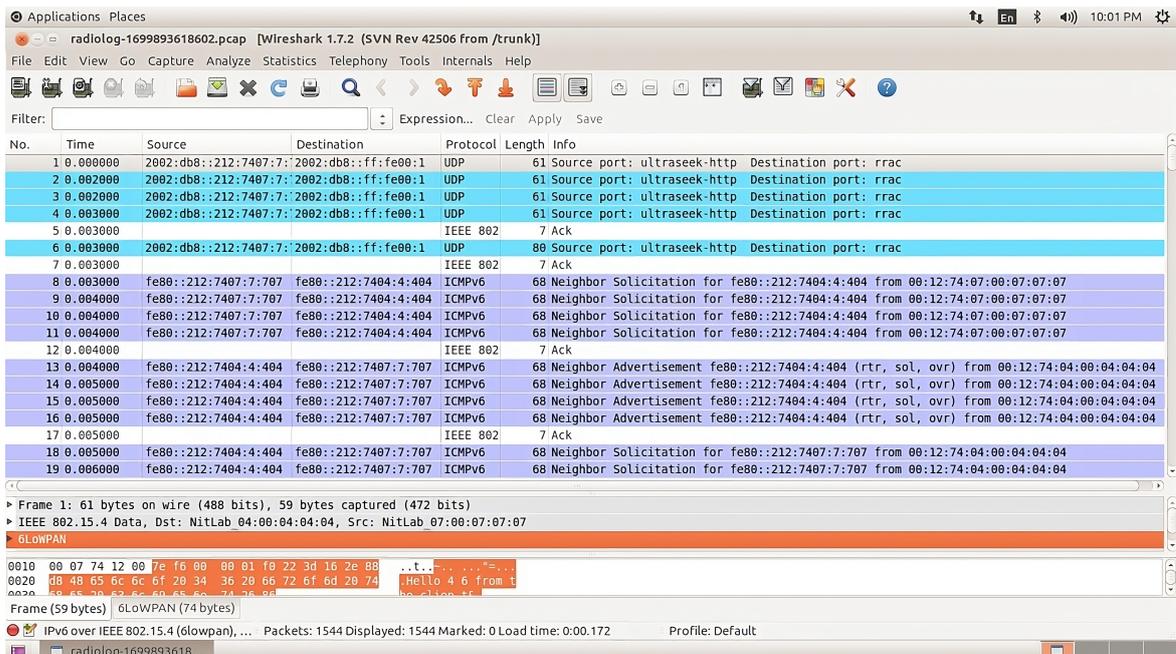
Fonte: Autoria própria 2023

Figura 21 – Cenário construído no Conti Cooja 2.7



Fonte: Autoria própria 2023

Figura 22 – Captura de pacotes no Wireshark para 6LowPAN



Fonte: Autoria própria 2023

7

Resultados e Discussões

7.1 Resultados de Perda de Pacotes

Baseando-se em uma simulação onde os nós envolvidos trafegavam a velocidades variantes entre 110 km/h e 90 km/h e como visto nas Figuras 23 e 24 a perda de pacotes foi bastante atenuada pelo conjunto MQTT/5G, onde até mesmo com um aumento significativo de nós, essa perda foi limitada e se indagarmos as necessidades de comunicação em redes veiculares, mostrou-se bastante aderente ao experimento proposto. No contexto *COAP* e *MQTT* utilizando *802.11p* e *6LowPAN* utilizando *802.15.4*, temos um diferencial de 75% a favor do protocolo MQTT, quando verificamos os mesmos protocolos com suporte a tecnologia 5G, temos um valor diferencial de 98,75% a favor do *MQTT*.

Uma das principais métricas analisadas nas simulações foi a perda de pacotes. Apesar dos benefícios peculiares das redes sem fio, alguns fatores como as condições de transmissão devem ser analisados, pois a interferência eletromagnética presente no enlace de comunicação consiste em um dos principais fatores de degradação do desempenho dessas redes (GODOY; PORTO, 2013). Uma grande quantidade de pacotes perdidos em uma comunicação pode dar-se por decorrência da presença de ofensores na rede e a distância dos pontos de comunicação. Nota-se também que a presença de outros dispositivos próximos e que estejam tentando acessar a rede também pode influenciar na perda (ZACARIOTTO et al., 2014). A métrica para a perda de pacotes foi medida baseada na seguinte fórmula:

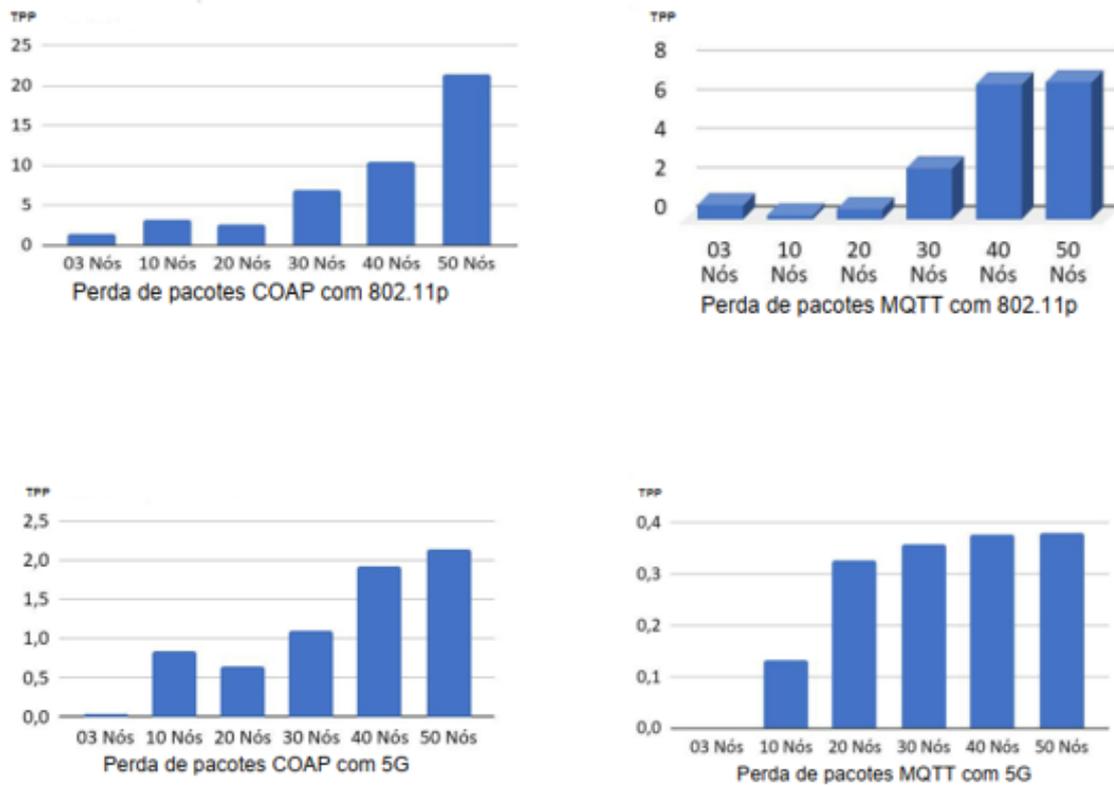
$$TPP = \frac{PE - PR}{PE} \quad (7.1)$$

Onde: TPP é a taxa de pacotes perdidos, PR é o total de pacotes recebidos e PE é o total de pacotes enviados.

Também é importante observar que na Figura 23 com o padrão 802.11p, a perda de

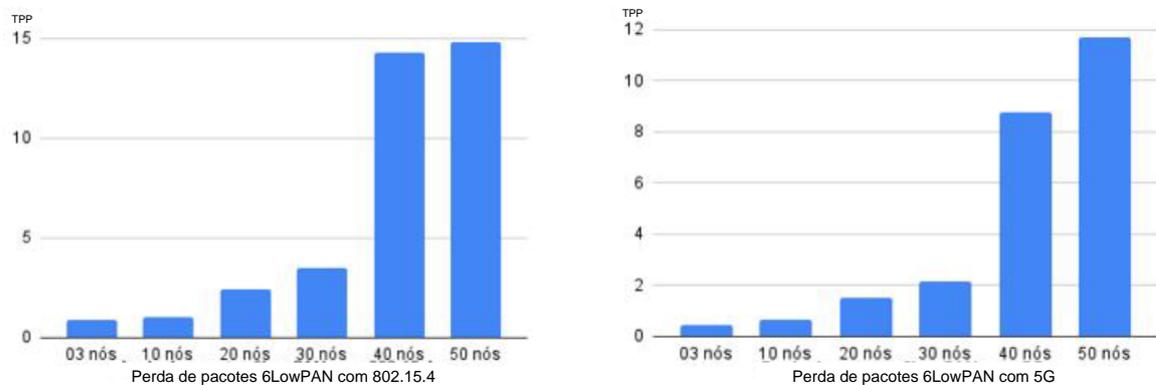
pacotes cresce significativamente quando temos 30 ou mais nós na rede. Também é possível notar o mesmo fator quando empregado o 5G, porém os valores são bastante inferiores aos da rede 802.11p, representando um decréscimo superior a 90% quando temos 50 nós na rede. A Figura 24 foram aqueles que apresentaram menor desempenho.

Figura 23 – Perda de pacotes 802.11p e 5G



Fonte: Autoria própria 2023

Figura 24 – Perda de pacotes 6LowPAN com 802.15.4 e 5G



Fonte: Autoria própria 2023

7.2 Resultados do Jitter

Com relação ao *jitter*, como mostrado na Figura 25 e na Figura 26, o experimento com o conjunto *MQTT/5G* mais uma vez foi mais efetivo, mostrando uma taxa bem reduzida de jitter equivalente a 86,67% na análise *COAP/MQTT* com 802.11p e com taxas próximas, promovidas pelo *6LowPAN com 802.14.5 e 5G*, dando uma grande vantagem ao *MQTT*. No conjunto *COAP/MQTT/6LowPAN* com suporte 5G a diferença percentual foi de 70% favorável ao *MQTT*.

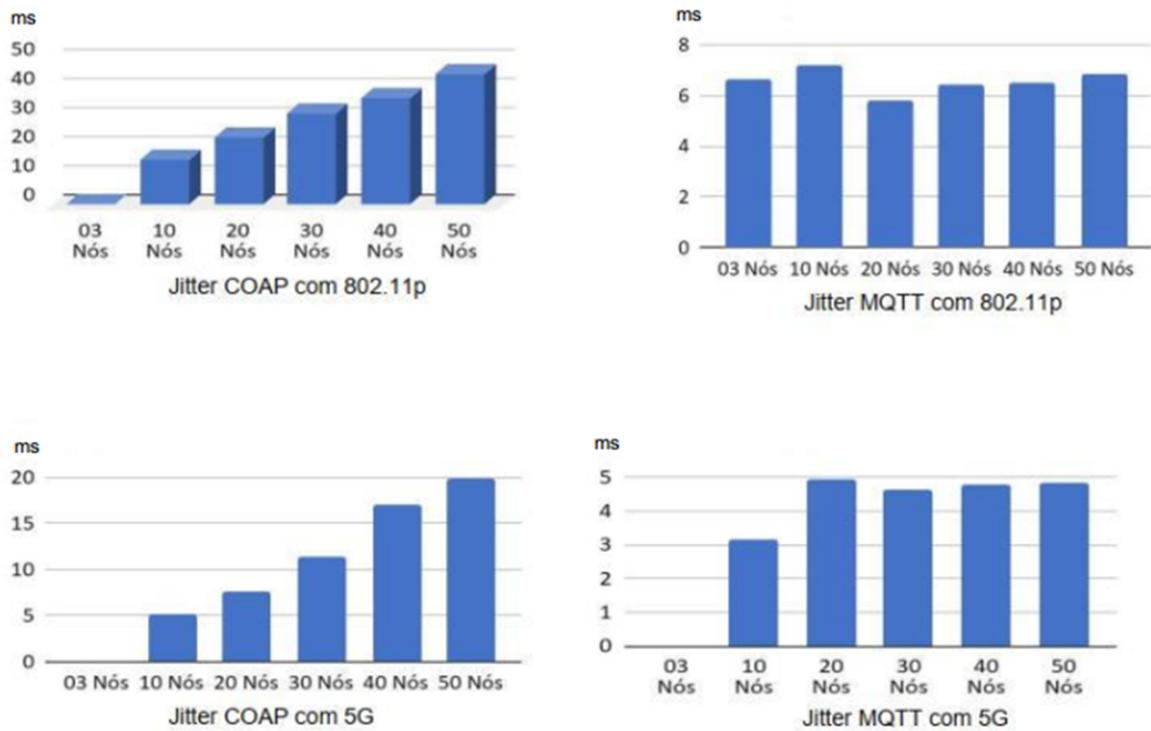
Outro resultado importante está no fato do *MQTT* demonstrar uma maior estabilidade do jitter à medida que aumenta-se a quantidade de nós na rede. Não há um incremento significativo do jitter entre os cenários de 20 nós e 50 nós, tanto no *MQTT/802.11p* quanto no *MQTT/5G*. Já nos cenários com uso do *COAP*, o jitter tem um aumento superior a 100% quando compara-se a rede com 20 nós e a rede com 50 nós. Isso constitui-se mais um fator favorável ao uso do *MQTT* para as redes veiculares.

O jitter que é definido como a variação no tempo e na sequência de entrega de pacotes, dessa forma, o controle do jitter é importante para as aplicações executadas em rede, cuja operação adequada depende da garantia que os pacotes sejam processados em períodos de tempo bem definidos (SILVA et al., 2021). Além disso em sistemas eletrônicos digitais ou analógicos, bem como em sistemas de comunicação por Radiofrequência – RF, o *jitter* pode afetar seriamente a integridade do sinal, levando, por exemplo, a uma redução da relação sinal-ruído (SNR) ou do número efetivo de bits (*ENOB*) (BALESTRIERI et al., 2019). Uma VANET que possua uma boa relação de jitter entre seus nós poderá ter sua performance garantida no tempo de envio, recebimento e resposta entre os elementos da rede. Para o cálculo da métrica do jitter foi utilizada a seguinte fórmula:

$$JM = \frac{\sum J_i}{NP} \quad (7.2)$$

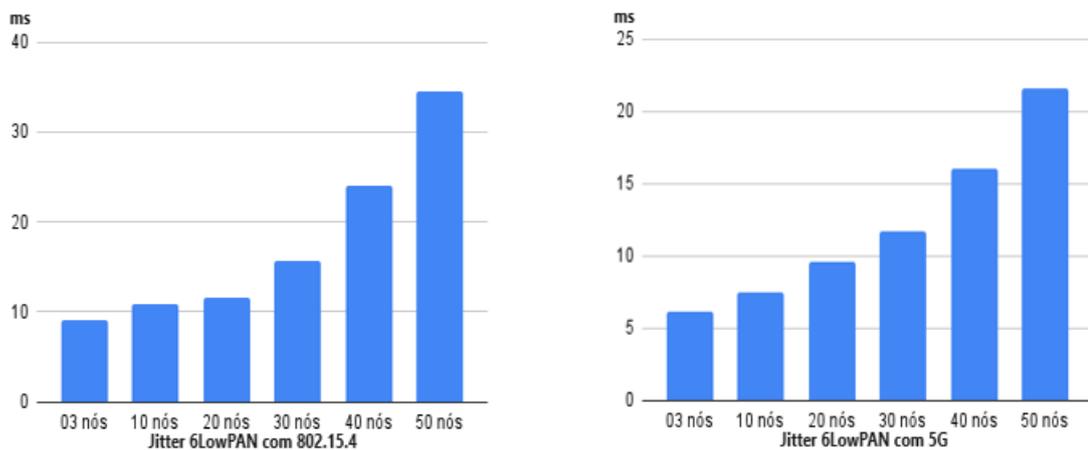
Onde: JM é o valor médio do jitter, em milissegundos (ms). Ji são as medidas de jitter efetuadas durante o experimento, em ms. NP é o número de pacotes é o número de pacotes analisados. As Figuras 25 e 26, exibem os valores encontrados.

Figura 25 – Jitter 802.11p e 5G



Fonte: Autoria própria 2023

Figura 26 – Jitter 802.15.4 e 5G



Fonte: Autoria própria 2023

7.3 Resultados da Latência

Para as simulações também foi analisada a latência da rede, que refere-se ao atraso ou quantidade de tempo que um pacote de dados utiliza para viajar de um ponto a outro em uma rede. É uma métrica de muita relevância, pois a velocidade e o desempenho de uma rede podem

ser significativamente afetados principalmente em aplicações de tempo real, tal qual as *VANETs*. Para um bom funcionamento da rede, é necessária uma baixa latência, bem como uma largura de banda elevada e alta disponibilidade (BORGES et al., 2021). Atualmente, a pesquisa no campo de métodos alternativos de gerenciamento de redes de transporte está ganhando impulso. Com o lançamento próximo do 5G e as inovações atuais das redes IoT, implementar uma *VANET* robusta e confiável, com aplicações de latência baixa tornou-se uma necessidade (VLADYKO et al., 2019).

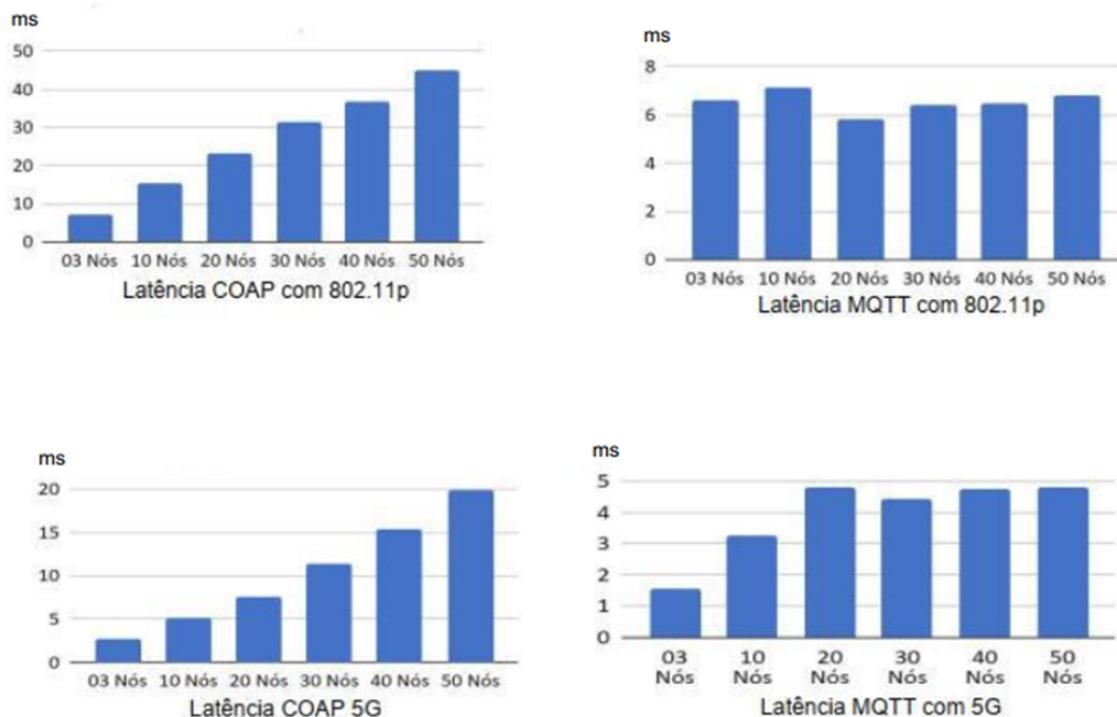
Os valores de latência encontrados são mostrados na Figura 27 e 28, onde mais uma vez o conjunto MQTT/5G obteve os melhores resultados. O experimento constatou uma latência 86,63% menor no MQTT com suporte 802.11p, em relação ao COAP com o 802.11p e do 6LowPAN com 802.15.4 e 5G. Também se constata uma latência 69,9% menor no conjunto MQTT com suporte do 5G em comparação ao COAP e 6LowPAN com 5G.

A fórmula utilizada para encontrar a latência foi:

$$LM = \frac{\sum L_i}{NP} \quad (7.3)$$

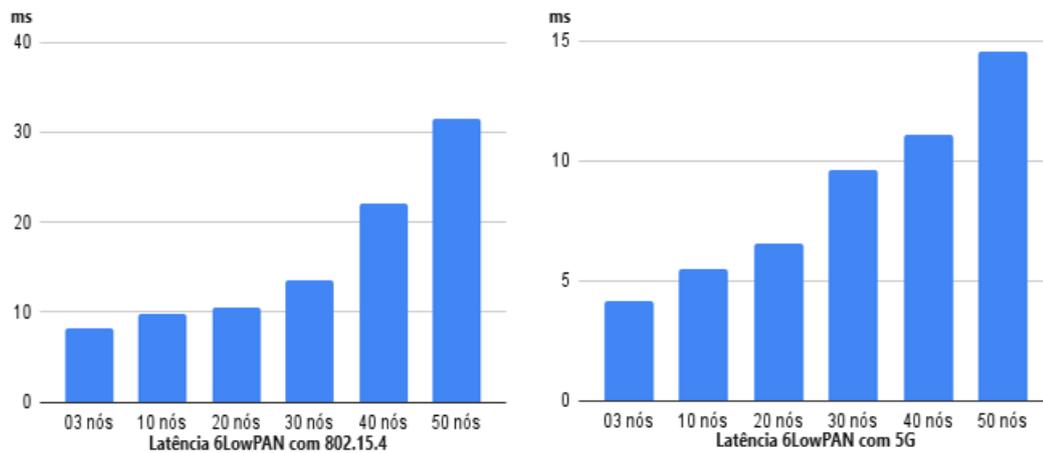
Onde: LM é a latência média em milissegundos (ms). Li são os valores de latência medidos durante o experimento, em ms. Número de pacotes é o número de pacotes analisados.

Figura 27 – Latência 802.11p e 5G



Fonte: Autoria própria 2023

Figura 28 – Latência 6LowPAN 802.15.4 e 5G



Fonte: Autoria própria 2023

7.4 Resultados do Throughput

Throughput ou taxa de transferência é a quantidade de dados que pode ser transmitida ou recebida durante um determinado período. O *throughput* é uma métrica importante porque determina a quantidade de dados que pode ser efetivamente transmitida em uma rede em condições reais de uso. As taxas obtidas foram de 88% a favor do MQTT com suporte do protocolo 802.11p e 80% a favor do MQTT em conjunto com a tecnologia 5G. O 6LowPAN foi o protocolo com o menor retorno entre os três, deixando a desejar nas métricas realizadas.

O throughput de rede é um dos fatores mais importantes a serem considerados ao projetar uma rede. Um alto throughput de rede é essencial para aplicações que exigem um grande volume de dados (TANENBAUM, 2010).

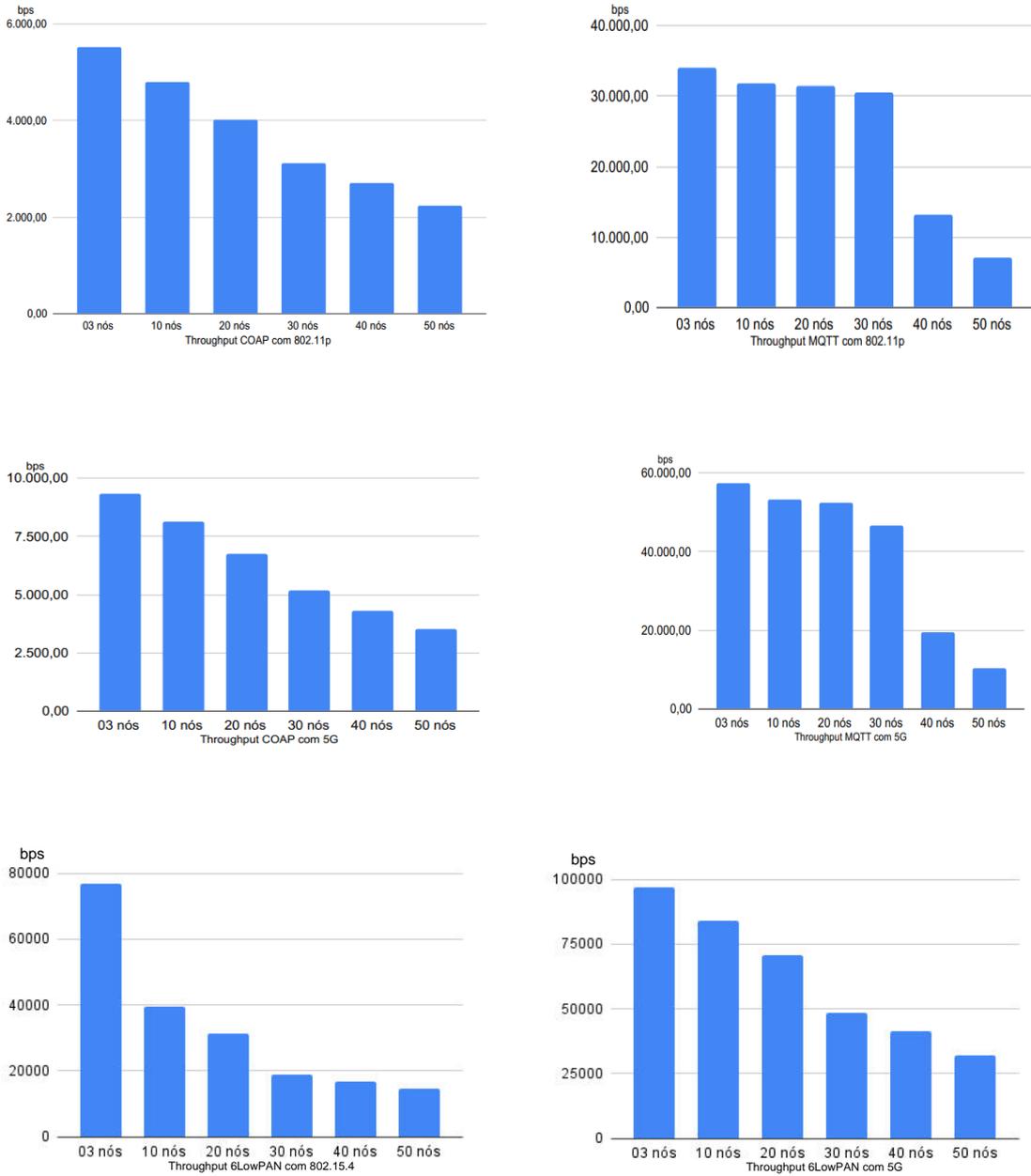
Como solução para uma crescente demanda, estão surgindo novas tecnologias, como são os casos das redes 5G. Essas redes estão atraindo a atenção devido à sua capacidade de oferecer conectividade a uma grande quantidade de dispositivos, com ótimas respostas em termos de throughput, latência e eficiência espectral (PEREIRA, 2019).

O cálculo utilizado para a métrica do throughput encontra-se na equação abaixo:

$$TM = \frac{\sum T_i}{N} \quad (7.4)$$

Onde, TM é a o *throughput* médio do experimento; T_i são os valores de *throughput* medidos no decorrer do experimento; e N é o número de amostras obtidas do *throughput*. Podemos observar os resultados de *throughput* na Figura 29.

Figura 29 – Troughput 802.11p, 5G e 6LowPAN



Fonte: Autoria própria 2023

7.5 Resultados e Discussões

Após a análise das simulações utilizando-se os simuladores foi possível verificar a perda de pacotes, o *jitter*, a latência e o *throughput* de ambos os protocolos, sejam eles operando sobre 802.11p, 802.15.4 ou sejam eles operando sobre 5G.

Uma VANET é uma estrutura de rede dinâmica, pois a mesma poderá sofrer modificações em sua densidade de funcionamento, e a qualquer instante uma via com poucos veículos e com velocidades constantes, pode tornar-se uma via com muitos veículos e estes com velocidades variadas. Portanto esse tipo de rede necessita de baixa latência e uma boa comunicação entre os sensores veiculares, pois os mesmos necessitam identificar no menor período de tempo, novos nós e as alterações entre eles envolvidas.

Como mostrado nos resultados obtidos na seção das simulações, tanto operando em conjunto com o 802.11p, 802.15.4 ou em conjunto com o 5G, o protocolo MQTT mostrou-se superior em todos os aspectos relacionados às métricas da simulação. Deixa-se claro portanto que, se utilizado de maneira correta esse protocolo pode ser empregado em VANETs com muita eficiência a fim de trocar informações entre os nós da rede em tempo hábil, critério básico em uma rede veicular.

Em relação ao protocolo COAP, alguns motivos podem ser apontados como indicativos da sua baixa performance em relação ao protocolo MQTT. Podemos citar, por exemplo: *overhead* de cabeçalho, pois apesar do COAP ter sido projetado de maneira a possuir requisitos de baixa latência e pouco consumo energético, seu cabeçalho tende a possuir um tamanho mais significativo que o de outros protocolos, as vezes tamanho este superior até mesmo à quantidade de dados por pacote. Outro exemplo poderia ser a questão da falta de confiabilidade dos mecanismos de entrega do protocolo já que ele faz sua análise de pacotes através do método CON-ACK, o que pode torna-lo menos confiável em alguns tipos de redes. Quanto ao 6LowPAN, segundo (HUMMEN et al., 2013) a fragmentação causa impactos negativos no desempenho, no consumo energético e pode causar perda de pacotes o que pode ser um problema em redes que possuem recursos escassos como as redes IoT. Apesar de ser considerado um protocolo eficiente e útil em redes IoT, seu alcance pode torna-se um outro ponto negativo quando trata-se de localizar novos nós, o que pode gerar uma latência maior..

7.6 Conclusão

Os projetos em redes VANETs podem possuir os mais variados escopos e tecnologias envolvidas, portanto torna-se necessário sondar as especificações de cada projeto de uma rede veicular, tais como: distância total das pistas, área de cobertura do sinal, densidade da via, sinalização e o fator mais importante, o elemento humano.

Apesar de ter obtido uma vantagem substancial em relação aos protocolos COAP e

6LowPAN, o MQTT necessitaria de uma avaliação mais profunda a depender do projeto em que estiver envolvido. Podemos notar a grande vantagem que ele obteve ao trabalhar em conjunto com o 5G, pois dessa forma os elementos envolvidos na rede, tiveram o suporte de uma tecnologia com baixo nível de latência, longa distância de propagação e excelente throughput.

Neste trabalho não foram utilizadas estruturas de apoio, apenas a comunicação em modo V2V ou seja, a introdução de uma estrutura de suporte do tipo *Edge Computing* ou algumas *Road Side Units – RSUs*, poderiam prover relativas mudanças nos resultados aqui encontrados. Além disso, é válido lembrar que o conceito aqui aplicado de DVU baseia-se nas regras do DNIT brasileiro e da ASHTOO americana, regras essas que se não cumpridas poderiam alterar os dados aqui obtidos.

A tecnologia 5G vem se mostrando eficiente nos mais diversos sentidos de aplicações tecnológicas de comunicação, com sua baixa latência, alcance elevado de transmissão, baixo *throughput* e foi vencedora em todas as métricas utilizadas neste trabalho. Quanto ao 802.11p e segundo o trabalho de (MÜHLBAUER, 2014) o padrão possui desempenho satisfatório em cenários com baixa densidade de veículos e parcialmente satisfatório com média e alta densidades, o mesmo trabalho ainda relata dados estatísticos de perda de sinal e baixa transmissão de pacotes para os dois últimos cenários o que impactaria diretamente nos requisitos de alta confiabilidade que são necessários nas VANETs.

7.7 Dificuldades Encontradas

Grande parte dos trabalhos publicados a respeito do tema abordado relatam problemas no sentido de interferência de sinal ou descoberta de novos nós na rede, descobertas essas que deveriam ser em tempo viável, principalmente tratando-se de ultrapassagens veiculares. Problemas com sombreamento devido a rodovias próximas a morros, montanhas ou estradas muito íngremes, também geram dificuldades para muitas implementações tecnológicas em VANETs. A falta de possibilidade de utilização de cenários simulados que, impletem algumas dessas dificuldades é um outro ponto a se questionar. A maioria das obras estudadas, sejam em implemetações V2V, V2I ou V2X, possuem dificuldades similares, e portanto, focam na necessidade de uma melhor distribuição de sinal e em um melhor alcance do mesmo.

7.8 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, almejamos esclarecer e estudar as tecnologias de disseminação do espectro de sinal das redes veiculares, visto que, a maioria dos problemas relatados na seção de dificuldades encontradas, diz respeito a isso. Outra linha interessante a se abordar é a da pesquisa de protocolos que sejam mais eficientes e voltados a estar mais próximos ao conceito da IoV ainda mais que do conceito da IoT. Apesar de conclusões parciais para trabalhos nessa área,

continuaremos ainda com uma abordagem em redes (*VANETs/V2V*), pois, por não possuírem intermediários de transmissão ainda são bastante promissoras e isso foi relatado neste trabalho.

Referências

- ABBAS, F. et al. An efficient cluster based resource management scheme and its performance analysis for v2x networks. *IEEE Access*, v. 8, 2020. ISSN 21693536. Citado na página 34.
- ANWAR, R. W. et al. Btem: Belief based trust evaluation mechanism for wireless sensor networks. *Future Generation Computer Systems*, v. 96, p. 605–616, 11 2019. ISSN 0167739X. Citado na página 23.
- AURENICE, F. Manobra de ultrapassagem em pista simples bidirecional em simulador de direção. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 42.
- BALESTRIERI, E. et al. Review on jitter terminology and definitions. *Measurement*, Elsevier, v. 145, p. 264–273, 2019. Citado na página 58.
- BEKHOR, P. A. F. H. A risk evaluation by modeling of behavior on twolane rural highways. v. 41, p. 887–894, 2009. Citado na página 40.
- BEZERRA, B. S. B. J. T. S. K. C. R. F. A. C. P. R. J. A. A. Segurança viária. *Suprema Gráfica e Editora São Paulo - SP*, v. 1ª edição, 2012. Citado na página 39.
- BORGES, V. E. F. d. C. et al. Avaliação de protocolos para a internet das coisas em redes veiculares. universidade federal de campina grande centro de engenharia elétrica e informática. 2021. Citado na página 60.
- CHEN, C. et al. Delay-aware grid-based geographic routing in urban vanets: A backbone approach. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, v. 27, 2019. ISSN 15582566. Citado na página 20.
- CHEN, M.-Y.; FAN, M.-H.; HUANG, L.-X. Ai-based vehicular network toward 6g and iot: Deep learning approaches. *ACM Transactions on Management Information System (TMIS)*, ACM New York, NY, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2021. Citado na página 31.
- CHOI, D. et al. Machine learning-based vehicle trajectory prediction using v2v communications and on-board sensors. *Electronics*, MDPI, v. 10, n. 4, p. 420, 2021. Citado na página 32.
- CNT, A. Transporte atual. <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-lanca-painel-sobre-acidentes-rodoviaros-veja-principais-dado>>. Acessado em: 25 de janeiro de 2022., 11 2021. Citado na página 14.
- CONTRAN. *Sinalização vertical de regulamentação / Contran-Denatran. 2ª edição – Brasília : Contran, 2007. 220 p. : il.* [S.l.]: Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), 2007. Citado na página 43.
- CUI, J. et al. Edge computing in vanets-an efficient and privacy-preserving cooperative downloading scheme. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 38, 2020. ISSN 15580008. Citado na página 13.
- DENG, K. Anomaly detection of highway vehicle trajectory under the internet of things converged with 5g technology. *Complexity*, v. 2021, 2021. ISSN 10990526. Citado na página 32.

DINCULEANĂ, D.; CHENG, X. Vulnerabilities and limitations of mqtt protocol used between iot devices. *Applied Sciences*, v. 9, p. 848, 11 2019. ISSN 2076-3417. Citado na página 48.

(DNIT)., D. N. de Infraestrutura de T. *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, (DNER) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil 195p. IPR publ 706. 1999.* Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

EDTD-SC: An IoT Sensor Deployment Strategy for Smart Cities. *Sensors*, v. 20, p. 7191, 11 2020. ISSN 1424-8220. Citado na página 23.

ELAZHARY, H. Internet of things (iot), mobile cloud, cloudlet, mobile iot, iot cloud, fog, mobile edge, and edge emerging computing paradigms: Disambiguation and research directions. *Journal of network and computer applications*, Elsevier, v. 128, p. 105–140, 2019. Citado na página 18.

GHEISARI, M. et al. A new algorithm for optimization of quality of service in peer to peer wireless mesh networks. *Wireless Networks*, v. 26, p. 4965–4973, 10 2020. ISSN 1022-0038. Citado na página 20.

GHEORGHE et al. Industrial big data, automated production systems, and internet of things sensing networks in cyber-physical system-based manufacturing. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, v. 8, p. 30–36, 2020. Citado na página 19.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. *Editores Atlas, São Paulo*, v. 4ª edição, p. 41–133, 2002. Citado na página 16.

GODOY, E. P.; PORTO, A. J. Co-simulation tools for networked control systems: Revision and utilization. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, Springer, v. 24, p. 816–830, 2013. Citado na página 56.

GOLESTAN, K. et al. Localization in vehicular ad hoc networks using data fusion and v2v communication. *Computer Communications*, Elsevier, v. 71, p. 61–72, 2015. Citado na página 30.

GUSEV, M.; DUSTDAR, S. Going back to the roots—the evolution of edge computing, an iot perspective. *IEEE Internet Computing*, v. 22, p. 5–15, 11 2018. ISSN 1089-7801. Citado na página 21.

HAKEEM, S. A. A.; HADY, A. A.; KIM, H. W. *Current and future developments to improve 5G-NewRadio performance in vehicle-to-everything communications.* 2020. Citado na página 31.

HONG, S.; KIM, Y.; KIM, G. J. Developing usable interface for internet of things (iot) security analysis software. In: _____. [S.l.: s.n.], 2017. p. 322–328. Citado na página 18.

HUMMEN, R. et al. 6lowpan fragmentation attacks and mitigation mechanisms. In: *Proceedings of the sixth ACM conference on Security and privacy in wireless and mobile networks.* [S.l.: s.n.], 2013. p. 55–66. Citado na página 63.

HUSNAIN, G.; ANWAR, S. An intelligent cluster optimization algorithm based on whale optimization algorithm for vanets (woacnet). *PLOS ONE*, v. 16, p. e0250271, 11 2021. ISSN 1932-6203. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 24.

K; RAMYA, D. J.; AROCKIAM, L. S. Quality of service in the internet of things (iot)—a survey. *ReTeLL: Tiruchirappalli, India*, 2019. Citado na página 12.

- K, K.; PATEL, S. M.; SCHOLAR, P. P. Internet of things-iot: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, v. 6, 2016. Citado na página 18.
- KENNEY, J. B. Dedicated short-range communications (dsrc) standards in the united states. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 99, n. 7, p. 1162–1182, 2011. Citado na página 45.
- LEE, T.-H. et al. A lightweight intrusion detection scheme based on energy consumption analysis in 6lowpan. In: SPRINGER. *Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human-centric Computing: HumanCom and EMC 2013*. [S.l.], 2014. p. 1205–1213. Citado na página 50.
- LI, M.; SI, P.; ZHANG, Y. Delay-tolerant data traffic to software-defined vehicular networks with mobile edge computing in smart city. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 67, p. 9073–9086, 11 2018. ISSN 0018-9545. Citado na página 24.
- LIN, H.; BERGMANN, N. W. Iot privacy and security challenges for smart home environments. *Information*, MDPI, v. 7, n. 3, p. 44, 2016. Citado na página 50.
- LU, Z. et al. A privacy-preserving trust model based on blockchain for vanets. *IEEE Access*, v. 6, p. 45655–45664, 2018. ISSN 2169-3536. Citado na página 24.
- MAGLOGIANNIS, V. et al. Experimental v2x evaluation for c-v2x and its-g5 technologies in a real-life highway environment. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, v. 19, 2022. ISSN 19324537. Citado 3 vezes nas páginas 12, 31 e 33.
- MAICSON, N. R. G. T. S. Mapeamento sistemático: Adoção de padrões de interoperabilidade no governo. *Revista Científica da FASETE*, 11 2018. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 26.
- MEHMOOD, A. et al. Antsc: An intelligent naïve bayesian probabilistic estimation practice for traffic flow to form stable clustering in vanet. *IEEE Access*, v. 6, 2017. ISSN 21693536. Citado na página 33.
- MENEGUETTE, L. A. P. J. F. da S. D. R. I. *Tecnologias habilitadoras para pesquisas em 5G-V2X*. 2021. Citado na página 47.
- MISHRA, R. et al. Internet of things (iot) adoption challenges in renewable energy: A case study from a developing economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 371, p. 133595, 11 2022. ISSN 09596526. Citado na página 19.
- MÜHLBAUER, R. *Estudos de confiança e reputação em redes ad hoc veiculares (vanets)*, Universidade Federal do ABC, Santo André (2014). 2014. Citado na página 64.
- NODARI, C. T.; BOTTESINI, G. Influência de medidas de segurança de trânsito no comportamento dos motoristas. *TRANSPORTES*, v. 19, p. 77, 11 2011. ISSN 2237-1346. Citado na página 40.
- ONU, N. *Acidentes de trânsito são a maior causa de morte de pessoas de 5 a 29 anos*. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1771092>. Acessado em 27/11/2022. 2021. Citado na página 14.
- OUBBATI, O. S. et al. U2rv: Uav-assisted reactive routing protocol for vanets. *International Journal of Communication Systems*, v. 33, 11 2020. ISSN 1074-5351. Citado na página 24.

- P. NAING, C.; ENGEL, R. V. E. Analyzing human factors in road accidents. In: _____. [S.l.: s.n.], 2008. Citado na página 40.
- PARRADO, N.; DONOSO, Y. Congestion based mechanism for route discovery in a v2i-v2v system applying smart devices and iot. *Sensors (Switzerland)*, v. 15, 2015. ISSN 14248220. Citado na página 13.
- PATEL, A.; KAUSHIK, P. Improving qos of vanet using adaptive cca range and transmission range both for intelligent transportation system. *Wireless Personal Communications*, v. 100, p. 1063–1098, 11 2018. ISSN 0929-6212. Citado na página 20.
- PEREIRA, L. G. *Análise dos parâmetros de throughput e de latência em uma rede 5g non stand alone*. 2019. Citado na página 61.
- PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: . [S.l.: s.n.], 2008. Citado 3 vezes nas páginas 17, 26 e 27.
- POPOVSKI, P. et al. 5g wireless network slicing for embb, urllc, and mmte: A communication-theoretic view. *IEEE Access*, v. 6, p. 55765–55779, 2018. ISSN 2169-3536. Citado na página 47.
- RENDA, M. E. et al. Ieee 802.11p vanets: Experimental evaluation of packet inter-reception time. *Computer Communications*, v. 75, p. 26–38, 11 2016. ISSN 01403664. Citado na página 47.
- SALEEM, Y.; MITTON, N.; LOSCRI, V. Divine: Data offloading in vehicular networks with qos provisioning. *Ad Hoc Networks*, v. 123, 2021. ISSN 15708705. Citado na página 32.
- SALEEM, Y.; MITTON, N.; LOSCRI, V. Divine: Data offloading in vehicular networks with qos provisioning. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 123, p. 102665, 2021. Citado na página 32.
- SANTOS, R. dos et al. Redes veiculares: Principios, aplicações e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*, p. 17–24, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- SASTRY, H. G. T. R. P. M. A novel approach to multicast in vanet using mqtt. *Ada User Journal*, v. 38, p. 231–235, 11 2017. Citado na página 49.
- SCHUTZE, A.; HELWIG, N.; SCHNEIDER, T. Sensors 4.0—smart sensors and measurement technology enable industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor systems*, Copernicus GmbH, v. 7, n. 1, p. 359–371, 2018. Citado na página 23.
- SHEIKH, W. A resource-tuned qos multicast routing protocol. *International Journal of Communication Systems*, v. 31, 11 2018. ISSN 1074-5351. Citado na página 20.
- SHELBY, Z.; HARTKE, K.; BORMANN, C. The constrained application protocol (coap). *Rfc* 7252, 2014. ISSN 2070-1721. Citado na página 50.
- SILVA, V. C. et al. Consumo de energia elétrica e jitter em redes ieee 802.11 / power consumption and jitter in ieee 802.11 networks. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, p. 82576–82582, 11 2021. ISSN 2525-8761. Citado na página 58.
- SONG, O. Z. K. R. Y.-Q. Using cooja for wsn simulations: Some new uses and limits. e. *NextMote workshop ACM*, p. 319–324, 11 2016. Citado na página 17.

SONI, D.; MAKWANA, A. *A SURVEY ON MQTT: A PROTOCOL OF INTERNET OF THINGS(IOT)*. 2017. Citado na página 48.

SOTO, V.; GRANDE, R. E. D.; BOUKERCHE, A. Repro: Time-constrained data retrieval for edge offloading in vehicular clouds. In: . [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 22.

TANENBAUM, A. *Computer Networks*. 6^a. ed. [S.l.]: Editora Pearson Education, 2010. 125 p. Citado na página 61.

TANVEER, M. et al. S6ae: Securing 6lowpan using authenticated encryption scheme. *Sensors*, MDPI, v. 20, n. 9, p. 2707, 2020. Citado na página 50.

TANYINGYONG, V. et al. Iot-grid: Iot communication for smart dc grids. In: IEEE. *2016 IEEE global communications conference (GLOBECOM)*. [S.l.], 2016. p. 1–7. Citado na página 49.

TIGHTIZ, L.; YANG, H. A comprehensive review on iot protocols' features in smart grid communication. *Energies*, v. 13, p. 2762, 11 2020. ISSN 1996-1073. Citado na página 19.

TORRES, A. P. A.; SILVA, C. B. D.; FILHO, H. T. An experimental study on the use of lora technology in vehicle communication. *IEEE Access*, v. 9, 2021. ISSN 21693536. Citado na página 33.

VARGA, A.; HORNIG, R. An overview of the omnet++ simulation environment. In: *1st International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems*. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 17.

VLADYKO, A. et al. Distributed edge computing to assist ultra-low-latency vanet applications. *Future Internet*, v. 11, p. 128, 11 2019. ISSN 1999-5903. Citado na página 60.

WADHWA, H.; ARON, R. Fog computing with the integration of internet of things: Architecture, applications and future directions. In: . [S.l.]: IEEE, 2018. p. 987–994. ISBN 978-1-7281-1141-4. Citado na página 19.

WANG, S. et al. A survey on service migration in mobile edge computing. *IEEE Access*, v. 6, p. 23511–23528, 2018. ISSN 2169-3536. Citado na página 21.

WEYNS1, M. U. I. D.; DONCKT1, R. K. S. M. J. V. D. Cost-benefit analysis at runtime for self-adaptive systems applied to an internet of things application, enase pages=478–490 2019. 2019. Citado na página 23.

XU, X. et al. A computation offloading method for edge computing with vehicle-to-everything. *IEEE Access*, v. 7, 2019. ISSN 21693536. Citado na página 34.

YU, B. et al. Examination and prediction of drivers' reaction when provided with v2i communication-based intersection maneuver strategies. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 106, p. 17–28, 11 2019. ISSN 0968090X. Citado na página 31.

ZACARIOTTO, W. A. et al. Consumo de energia elétrica e perda de pacotes em redes sem fio. In: *23º Congresso e Mostra Internacionais SAE Brasil de Tecnologia da Mobilidade*. [S.l.: s.n.], 2014. Citado na página 56.

ZEADALLY, S. et al. Vehicular ad hoc networks (vanets): Status, results, and challenges. *Telecommunication Systems*, v. 50, 2012. ISSN 10184864. Citado na página 12.

ZHANG, D.; ZHANG, T.; LIU, X. Novel self-adaptive routing service algorithm for application in vanet. *Applied Intelligence*, v. 49, p. 1866–1879, 11 2019. ISSN 0924-669X. Citado 2 vezes nas páginas [41](#) e [46](#).

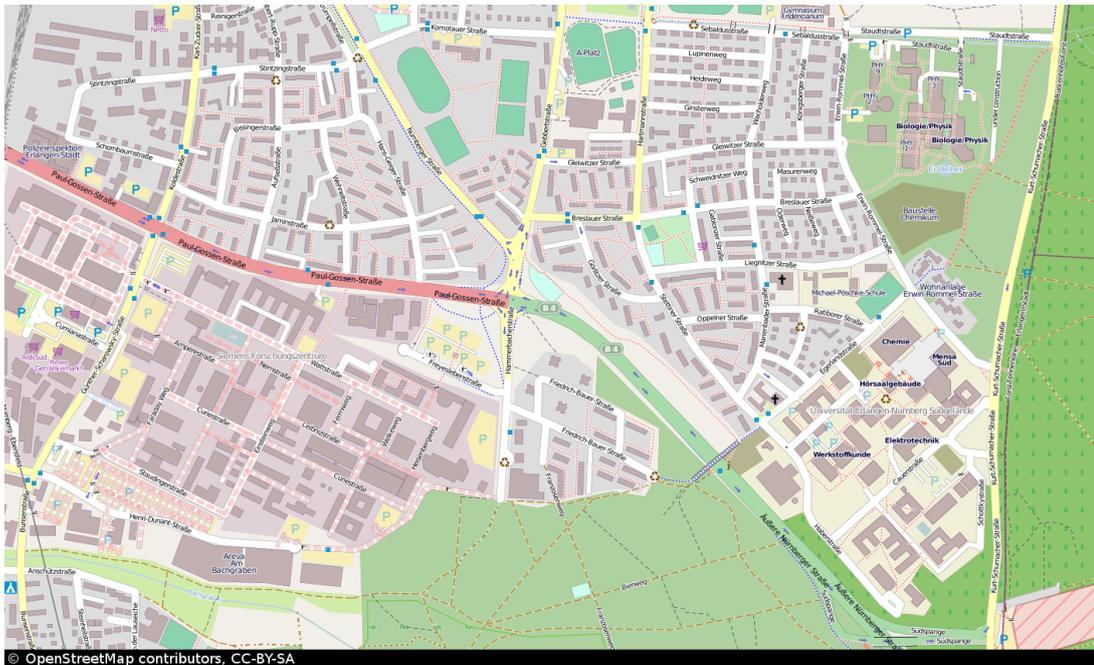
Apêndices

A

Mapas e códigos utilizados

A Figura 30 e a Figura 31, exibem respectivamente o mapa utilizado no cenário de simulação e um dos códigos utilizados no arquivo *map.rou*, onde ficam configuradas dentro do simulador *Omnet++6* a quantidade de veículos, suas distâncias, bem como suas velocidades. A Figura 32, mostra a implementação da arquitetura *6LowPAN* no simulador *Omnet++6*.

Figura 30 – Mapa do cenário



Fonte: Obtido através do *OpenStreetMap*, 2023

Figura 31 – Código *map.rou* do *Omnet++*

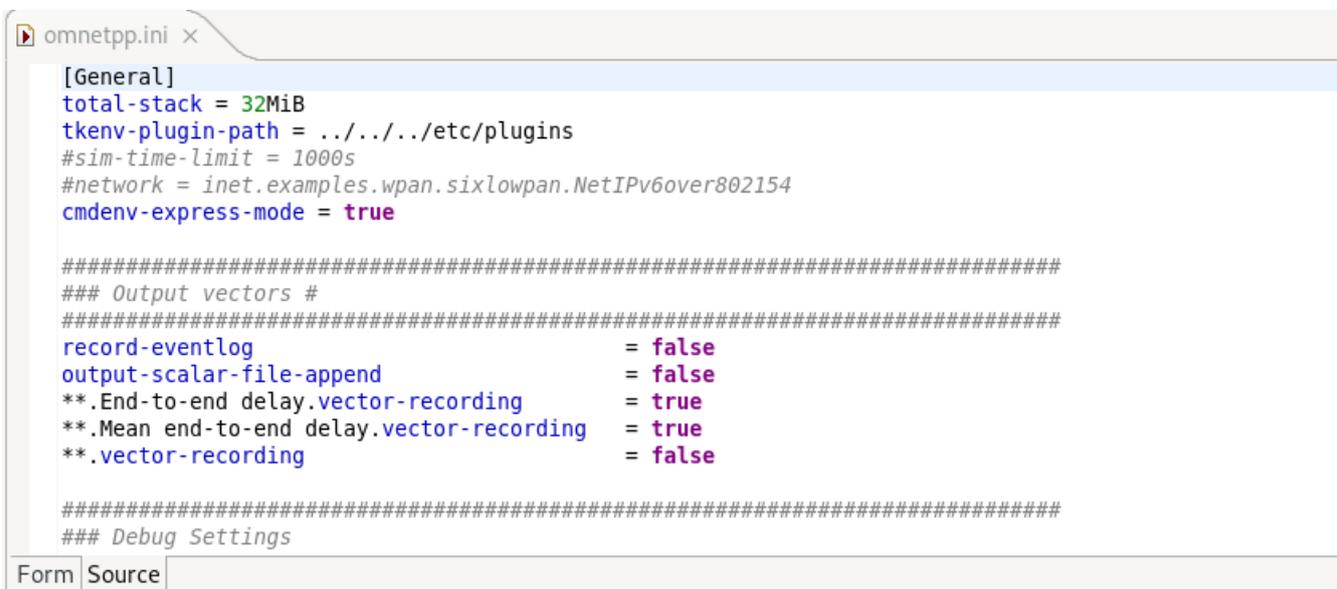
```

<!-- Routes + associated vehicles & flows -->
<route id="trip-0" color="Magenta" edges="13018126#16 13018126#17
13018126#18 13018126#19 -13018126#19 -13018126#18 -13018126#17 -
13018126#16 -13018126#15 -13018126#14 -13018126#13 -13018126#12 -
13018126#11 -13018126#10 -13018126#9 -13018126#8 -13018126#7 -13018126#6
-13018126#5 -13018126#4 -13018126#3 -13018126#2 -13018126#1 -13018126#0 -
818192348#18 -818192348#17 -818192348#16 -818192348#15 -818192348#14 -
818192348#13 -818192348#12 -818192348#11 -818192348#10 -818192348#9 -
818192348#8 -818192348#7 -818192348#6 818192348#6 818192348#7
818192348#8"/>

<!-- Vehicles -->
<vehicle id="vehicle-0" type="passenger" color="Magenta" depart="0.0"
route="trip-0" maxSpeed="70.0"/>
<vehicle id="vehicle-1" type="passenger" color="Magenta" depart="0.3"
route="trip-0" maxSpeed="90.0"/>
<vehicle id="vehicle-2" type="passenger" color="Magenta" depart="0.6"
route="trip-0" maxSpeed="110.0"/>
<vehicle id="vehicle-3" type="passenger" color="Magenta" depart="0.9"
route="trip-0" maxSpeed="85.0"/>
<vehicle id="vehicle-4" type="passenger" color="Magenta" depart="1.2"
route="trip-0" maxSpeed="90.0"/>
<vehicle id="vehicle-5" type="passenger" color="Magenta" depart="1.5"
route="trip-0" maxSpeed="70.0"/>
<vehicle id="vehicle-6" type="passenger" color="Magenta" depart="1.8"
route="trip-0" maxSpeed="75.0"/>
<vehicle id="vehicle-7" type="passenger" color="Magenta" depart="2.1"
route="trip-0" maxSpeed="80.0"/>
<vehicle id="vehicle-8" type="passenger" color="Magenta" depart="2.4"
route="trip-0" maxSpeed="85.0"/>
<vehicle id="vehicle-9" type="passenger" color="Magenta" depart="2.7"
route="trip-0" maxSpeed="90.0"/>
<vehicle id="vehicle-10" type="passenger" color="Magenta" depart="3.0"
route="trip-0" maxSpeed="70.0"/>
<vehicle id="vehicle-11" type="passenger" color="Magenta" depart="3.3"
route="trip-0" maxSpeed="75.0"/>
<vehicle id="vehicle-12" type="passenger" color="Magenta" depart="3.6"
route="trip-0" maxSpeed="80.0"/>
<vehicle id="vehicle-13" type="passenger" color="Magenta" depart="3.9"
route="trip-0" maxSpeed="85.0"/>
<vehicle id="vehicle-14" type="passenger" color="Magenta" depart="4.2"
route="trip-0" maxSpeed="90.0"/>
<vehicle id="vehicle-15" type="passenger" color="Magenta" depart="4.5"
route="trip-0" maxSpeed="70.0"/>
<vehicle id="vehicle-16" type="passenger" color="Magenta" depart="4.8"
route="trip-0" maxSpeed="75.0"/>
<vehicle id="vehicle-17" type="passenger" color="Magenta" depart="5.1"
route="trip-0" maxSpeed="80.0"/>
<vehicle id="vehicle-18" type="passenger" color="Magenta" depart="5.4"
route="trip-0" maxSpeed="85.0"/>

```

Figura 32 – Código 6LowPAN no Omnet++



```
omnetpp.ini x
[General]
total-stack = 32MiB
tkenv-plugin-path = ../../../../etc/plugins
#sim-time-limit = 1000s
#network = inet.examples.wpan.sixlowpan.NetIPv6over802154
cmdenv-express-mode = true

#####
### Output vectors #
#####
record-eventlog = false
output-scalar-file-append = false
**.End-to-end delay.vector-recording = true
**.Mean end-to-end delay.vector-recording = true
**.vector-recording = false

#####
### Debug Settings
```

Fonte: Autoria própria, 2023