



Dissertação de Mestrado

**Prevenção de acidentes em zonas rurais utilizando
redes 5G e computação de borda**

Felipe Tiago Lima de Oliveira
ftlo@ic.ufal.br

Orientador:
Dr. Leandro Dias da Silva

Maceió
Setembro, 2024

Felipe Tiago Lima de Oliveira

Prevenção de acidentes em zonas rurais utilizando redes 5G e computação de borda

Dissertação de Mestrado apresentada por Felipe Tiago Lima de Oliveira como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática pela Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Computação.

Orientador:

Dr. Leandro Dias da Silva

Maceió
Setembro, 2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 - 661

O48p Oliveira, Felipe Tiago Lima de.
Prevenção de acidentes em zonas rurais utilizando redes 5G e computação de
borda / Felipe Tiago Lima de Oliveira. – 2024.
48 f.: il.

Orientador: Leandro Dias da Silva.
Dissertação (mestrado em Informática) – Universidade Federal de Alagoas,
Instituto de Computação. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 45-48.

1. Redes de computadores. 2. Rede 5G. 3. Computação de borda. 4. Internet
de veículos. 5. Simulador CARLA. I. Título.

CDU: 004.738



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, 57.072-970
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO (PROPEP)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

Folha de Aprovação

FELIPE TIAGO LIMA DE OLIVEIRA

PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM ZONAS RURAIS UTILIZANDO REDES 5G E COMPUTAÇÃO DE BORDA

ACCIDENT PREVENTION IN RURAL AREAS USING 5G NETWORKS AND EDGE
COMPUTING

Dissertação submetida ao corpo docente do
Programa de Pós-Graduação em Informática
da Universidade Federal de Alagoas e
aprovada em 13 de setembro de 2024.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LEANDRO DIAS DA SILVA
Data: 13/11/2024 12:26:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. LEANDRO DIAS DA SILVA
UFAL – Instituto de Computação
Orientador

Documento assinado digitalmente
 BALDOINO FONSECA DOS SANTOS NETO
Data: 13/11/2024 11:03:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. BALDOINO FONSECA DOS SANTOS NETO
UFAL – Instituto de Computação
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 ALVARO ALVARES DE CARVALHO CESAR SOBRINHO
Data: 13/11/2024 11:50:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. ALVARO ALVARES DE CARVALHO CESAR
SOBRINHO**
UFAPE - Universidade Federal do Agreste de
Pernambuco
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 ABEL CAVALCANTE LIMA FILHO
Data: 12/11/2024 11:23:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ABEL CAVALCANTE LIMA FILHO
UFPB- Universidade Federal da Paraíba
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 IVO AUGUSTO ANDRADE ROCHA CALADO
Data: 11/11/2024 21:22:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. IVO AUGUSTO ANDRADE ROCHA CALADO
IFAL – Instituto Federal de Alagoas
Coorientador

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade que me deu de estudar e concluir esse curso.

Aos meus pais Pedro Barros de Oliveira e Adenir Lima de Oliveira por toda dedicação com que me criaram, e pelos princípios e ensinamentos que me deram. A minha família por compartilhar comigo de todos os momentos da minha vida, e em especial a minha irmã Alana Priscila Lima de Oliveira, por toda amizade, incentivo e inspiração, obrigado por tudo!

Aos meus professores que me inspiraram e tanto contribuíram para a minha formação acadêmica. Ao professor Dr. Ivo Augusto A. Rocha Calado, que também me orientou durante o curso, e que tenho gratidão pelos aprendizados. Em especial ao meu orientador professor Dr. Leandro Dias da Silva, por todo o apoio, paciência e ensinamentos.

A minha esposa Jacqueline Castro do Nascimento Oliveira, pela paciência e cuidado em todos os momentos, nesses anos que estamos juntos.

E por último, ao meu filho Juan Felipe Castro Lima de Oliveira, que tanto esperamos e que nasceu poucos dias antes desse trabalho ser apresentado.

Esse trabalho é dedicado aos meus pais Pedro Barros de Oliveira (in memoriam) e Adenir Lima de Oliveira (in memoriam).

Resumo

As estradas e rodovias do Brasil estão entre as mais perigosas do mundo, principalmente porque a maioria delas não são duplicadas, além disso, não possuem uma boa pavimentação, e há ainda uma enorme incidência de buracos. Caminhões estão envolvidos em quase metade dos acidentes, e isso resulta num grande número de vítimas fatais, sobretudo por conta da estrutura e diferença de massa existente entre esses veículos e veículos de passeio. São vários os fatores de risco de acidentes letais quando se tem uma grande quantidade de caminhões nas rodovias, e dentro dessa perspectiva, é importante enfatizar os caminhões canavieiros, por possuírem uma estrutura reforçada em relação a outros caminhões, o que acaba tornando maiores as chances de letalidade nos casos de acidentes entre eles e veículos menores. A partir de um sistema de envio de mensagens de alerta, utilizando a rede 5G e a computação de borda, este trabalho teve como proposta, a prevenção de acidentes, principalmente em estradas e rodovias que não são duplicadas, por oferecerem um risco maior, mas não se limitou a elas. A escolha por essas duas tecnologias como base para este trabalho, se deu a partir da observação de problemas comuns existentes em áreas rurais e remotas, como é o caso das rodovias, a saber, alta latência, baixa vazão, conectividade limitada e até ausência de conexão à internet. A utilização da rede 5G associada à computação de borda, pode surgir como uma potencial solução para dirimir ou ao menos atenuar os problemas citados anteriormente e isso deverá possibilitar o desenvolvimento de sistemas que possam enviar e receber dados em tempo real, entre veículos, infraestruturas e demais dispositivos na rede. O trabalho indicou que é de extrema importância, o desenvolvimento de sistemas para a prevenção de acidentes nas rodovias do Brasil, e a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura, foram observadas as principais tecnologias capazes de dar suporte a criação de tais sistemas. Como prova de conceito, um simulador foi utilizado para demonstrar a comunicação entre veículos, nas mais variadas circunstâncias, tendo em vista que ele dispõe de um ecossistema com uma infraestrutura de rede preexistente, permitindo a interação entre seus elementos, além de um ambiente virtual realístico composto por diferentes veículos, cidades e mapas. O simulador ainda possibilita a configuração de sensores, controle e personalização do ambiente, simulação de diversas situações de tráfego, dentre outros.

palavras-chave: Redes de Computadores, Rede 5G, Computação de Borda, IoV, Áreas Rurais, Simulador CARLA.

Abstract

Brazil's roads and highways are among the most dangerous in the world, mainly because most of them are not dual carriageways, and they are not well paved, and there is also a high incidence of potholes. Trucks are involved in almost half of the accidents, and this results in a large number of fatalities, mainly due to the structure and difference in mass between these vehicles and passenger vehicles. There are several risk factors for fatal accidents when there are a large number of trucks on the highways, and from this perspective, it is important to emphasize sugarcane trucks, as they have a reinforced structure in relation to other trucks, which ends up increasing the chances of fatalities in cases of accidents between them and smaller vehicles. Based on a system for sending alert messages, using the 5G network and edge computing, this work aimed to prevent accidents, mainly on roads and highways that are not dual carriageways, as they present a greater risk, but it was not limited to them. These two technologies were chosen as the basis for this work based on the observation of common problems that exist in rural and remote areas, such as highways, namely, high latency, low throughput, limited connectivity and even lack of internet connection. The use of the 5G network associated with edge computing may emerge as a potential solution to resolve or at least mitigate the problems mentioned above and this should enable the development of systems that can send and receive data in real time between vehicles, infrastructure and other devices on the network. The work indicated that it is extremely important to develop systems to prevent accidents on Brazilian highways, and based on a Systematic Review of the Literature, the main technologies capable of supporting the creation of such systems were observed. As a proof of concept, a simulator was used to demonstrate communication between vehicles in the most varied circumstances, given that it has an ecosystem with a preexisting network infrastructure, allowing interaction between its elements, in addition to a realistic virtual environment composed of different vehicles, cities and maps. The simulator also allows for the configuration of sensors, control and customization of the environment, simulation of different traffic situations, among others.

Keywords: Computer Networks, 5G Network, Edge Computing, IoV, Rural Areas, CARLA Simulator.

Sumário

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Descrição do Problema	3
1.3 Objetivos Gerais	4
1.4 Objetivos Específicos	4
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 Internet dos Veículos	5
2.2 Rede 5G	7
2.3 Computação de Borda	8
2.4 Simulador CARLA	10
3 Trabalhos Relacionados	13
3.1 Trabalhos Relacionados	13
4 Revisão Sistemática	16
4.1 Revisão Sistemática da Literatura	16
4.1.1 Objetivo	16
4.1.2 Metodologia	17
4.1.3 Resultados	18
4.1.4 Discussão	21
4.1.5 Conclusões da RSL	25
5 Simulador	26
5.1 CARLA	26
5.1.1 Configuração e Requisitos de Hardware	30
6 Resultados das Simulações	31
6.1 Simulações	31
6.2 Cenários Simulados	34
6.3 Resultados Obtidos	35
7 Conclusão	39
7.1 Considerações Finais	39
7.2 Desafios e Trabalhos Futuros	40

Lista de Figuras

4.1	Arquitetura MEC (Brehon–Grataloup et al., 2022).....	22
4.2	Rede com BS, Small Cell e 5G em áreas urbanas e rurais (Tang et al., 2021).....	24
5.1	Cidade 07 do CARLA. Fonte: carla.org.....	27
5.2	Rede rodoviária da cidade 07 do CARLA. Fonte: carla.org.....	27
5.3	Cidade 12 do CARLA. Fonte: carla.org.....	28
5.4	Cidade 12 do CARLA. Fonte: carla.org.....	28
5.5	Rede rodoviária da cidade 12 do CARLA. Fonte: carla.org.....	29
6.1	Exemplo de acidente provocado. Fonte: simulação própria.....	33
6.2	Simulação no Cenário 1. Fonte: simulação própria.....	36
6.3	Simulação no Cenário 2. Fonte: simulação própria.....	36
6.4	Simulação no Cenário 3. Fonte: simulação própria.....	37
6.5	Simulação no Cenário 4. Fonte: simulação própria.....	38

Lista de Tabelas

4.1	Bases de dados para a RSL.....	17
4.2	Crítérios de Seleção para a Revisão Sistemática da Literatura.....	18
6.1	Simulações no Cenário 1.....	35
6.2	Simulações no Cenário 2.....	36
6.3	Simulações no Cenário 3.....	37
6.4	Simulações no Cenário 4.....	37

1

Introdução

1.1 Motivação

O trajeto que os caminhões de usina geralmente percorrem fora das áreas de plantação, no entorno das usinas, ou seja, nas rodovias, é basicamente o caminho de ida e volta entre as usinas e os locais onde as canas são plantadas, colhidas e carregadas nesses caminhões que são chamados de canavieiros. A distância percorrida nesse trajeto varia, podendo chegar até 20 km, 30 km, 40 km, 50 km, 100 km, ou até mais, tendo em vista que em muitos casos é necessário percorrer de uma cidade à outra. A velocidade dos caminhões nas rodovias é um fator muito preocupante, especialmente porque é o principal agente causador de acidentes, sendo muitos desses fatais.

De acordo com a Polícia Rodoviária Federal, nas rodovias federais do Brasil, quase metade dos acidentes com morte, registrados entre janeiro e abril de 2023, estavam envolvendo caminhões ou carretas. Um em cada quatro acidentes nas rodovias federais do Brasil, tem, pelo menos, uma carreta ou um caminhão envolvidos, e desse modo, 46% das mortes nas estradas dentro desse período, foram em acidentes com veículos de carga pesada. Dados da Polícia Rodoviária Federal apontaram que de janeiro à abril de 2022 foram registrados 1.222 acidentes com feridos graves e 624 mortes, e entre janeiro e abril de 2023 foram 1.211 acidentes com feridos graves, e 631 óbitos¹. Diante desses dados, observou-se que o número e letalidade de acidentes envolvendo caminhões foi alto, e isso se deu principalmente por conta das dimensões e diferença de massa entre caminhões e veículos menores, e em consequência disso, esses últimos acabaram tendo vítimas mais graves ou fatais.

Dito isto, apesar do fato dos caminhões terem sido citados com mais veemência, dado os fatores de risco que os mesmos representam, é importante ressaltar que o objetivo do trabalho foi a prevenção de acidentes de uma forma geral nas zonas rurais, e aqui é importante salientar que de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), as rodovias são vias

¹ Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2023/06/16/acidentes-em-rodovias-federais-do-brasil-quase-metade-das-mortes-ate-abril-envolveu-caminhoes-ou-carretas.ghtml>. Acesso em: 18/06/2023.

rurais pavimentadas, então nesse sentido, toda rodovia é considerada uma zona rural.

Conforme já foi apontado, a pesquisa não se restringiu à caminhões, mas eles foram mencionados com mais ênfase, por conta da grande quantidade de acidentes causados ou pelo menos envolvendo caminhões, sobretudo caminhões de carga de uma forma geral, que muitas vezes trafegam nas rodovias com excesso de carga. Além dos perigos da alta velocidade, a baixa velocidade de veículos de grande porte como caminhões, também é um dos grandes vilões das rodovias, principalmente no que diz respeito aos caminhões de carga, que em muitas vezes utilizam acessos ilegais nas rodovias e acabam causando acidentes.

Um dos motivos que aumentam a quantidade de acidentes com caminhões, principalmente quando estão carregados, é a baixa velocidade, que pode chegar a mínimos 10 km/h em subidas mais íngremes, e também no caso das curvas, onde as baixas velocidades fazem crescer bastante o risco de acidentes. Determinados tipos de caminhões, como os de transporte de madeira e os de cana-de-açúcar, possuem uma estrutura reforçada, e nesses casos quando há uma colisão, a velocidade relativa é bem maior, sendo essa batida equivalente a um choque contra um muro resistente. Estudos da Autovias (concessionária de rodovias do estado de São Paulo), já apontaram que a taxa de letalidade envolvendo acidentes com caminhões que transportam cana-de-açúcar, é bem maior que nos demais casos².

Partindo desse pressuposto, através de sensores instalados nos caminhões é possível obter o envio de informações para monitoramento desses veículos, enquanto eles trafegam no caminho de ida e volta com suas cargas, e no caso desse trabalho, o foco foi nos dados de velocidade e GPS. A partir dessas informações, será possível saber a localização exata de cada caminhão, além de monitorar as velocidades que estão trafegando, sobretudo nas rodovias, o que se configurará na prevenção de acidentes por excesso ou baixa velocidade, e também possibilitará manter a segurança dos ocupantes dos caminhões.

Situações como desvios de rota, excesso de velocidade e todas as demais informações obtidas através dos caminhões, tornam esse trabalho relevante não apenas para as organizações, mas também para a sociedade em geral, sobretudo por envolver questões de segurança, tendo em vista a quantidade de acidentes que já ocorreram por altas e baixas velocidades ou pelo acesso no momento indevido de caminhões que saem da área rural para as rodovias, caminhões esses, que a depender da quantidade de reboques utilizados, podem chegar a 30 metros de comprimento e entre 74 e 91 toneladas de PBTC (peso bruto total combinado).

De uma forma geral, quando se trata da implantação de tecnologias de telecomunicações, as áreas rurais não recebem a mesma prioridade dos ambientes urbanos, e conseqüentemente, isso faz com que esses locais muitas vezes não possuam uma conectividade móvel confiável ou até mesmo, que não tenham nenhuma conexão (Kumar et al., 2020). Nesse sentido, é importante observar que algumas das aplicações da rede 5G podem ser implementadas em cenários que tenham a necessidade de alta vazão, baixa latência, comunicação entre máquinas e acesso em áreas remotas, que foi o foco principal desse trabalho.

² Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ribeirao/ri2811201001.htm>. Acesso em: 18/06/2023.

Um dos principais objetivos para a utilização das redes 5G compreende a Internet dos Veículos, dado que as redes atuais não suportam o incremento de tráfego necessários para que o envio e recebimento de dados em tempo real, seja realizado de forma aceitável, inclusive nas rodovias que são regiões remotas e na grande maioria dos casos, não possuem uma infraestrutura que permita o acesso à internet.

A computação de borda foi projetada para suportar aplicações de Internet das Coisas (IoT - Internet of Things), e conseqüentemente de Internet dos Veículos (IoV - Internet of Vehicles), que tem como pontos em comum, as limitações de latência, exigência de mobilidade e distribuição geográfica. Ela é basicamente um tipo de computação distribuída, que tem o papel de aproximar os aplicativos das fontes de dados, como dispositivos de IoT, IoV ou servidores de borda local. A associação da rede 5G com a computação de borda, aproxima a computação e o armazenamento de dados do local de geração de dados, o que proporciona um controle de dados mais efetivo, redução de custos, ações e insights mais rápidos.

1.2 Descrição do Problema

Fora a já citada péssima qualidade das rodovias, países em desenvolvimento como o Brasil, possuem muitos caminhões velhos e sucateados, e isso aumenta significativamente o número de acidentes fatais. Para se ter uma ideia, um estudo realizado em 2021 pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT), em que foi analisado 109,1 mil quilômetros de malha pavimentada, mostrou que mais de 60% das rodovias pavimentadas do Brasil possuem condições inadequadas, com a incidência de buracos, sinalização ruim e pavimentação com baixa qualidade, e fora isso, apenas 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada e apenas 11,1% é duplicada³.

Segundo a Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), em 2022 o número de caminhões no Brasil ultrapassou três milhões de unidades em circulação. Ademais, em uma outra pesquisa realizada pela CNT em 2019, que ouviu 1066 motoristas profissionais, foi demonstrado que a idade média dos caminhões chegava a 15,2 anos, sendo que destes, eram 18,4 anos para caminhoneiros autônomos, contra 8,6 anos para empregados de frota⁴. Diante disso, entende-se que a qualidade das estradas, a quantidade de rodovias duplicadas, bem como a idade média e tamanho da frota de caminhões, são fatores preponderantes que justificam o desenvolvimento de trabalhos para prevenir acidentes em estradas e rodovias, sobretudo as que não possuem duplicação, dada a periculosidade desse tipo de rodovia.

A carga de produtos e mercadorias no Brasil se move por rodovia e não por ferrovia, e em razão disso, existem muitos caminhões na estrada, e isso acaba gerando uma possibilidade

³ Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/mais-de-60-das-rodovias-do-pais-tem-condicoes-inadequadas/>. Acesso em: 18/06/2023.

⁴ Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/idade-media-frota-caminhoes-passa-15-anos-cnt-perfil-caminhoneiros>. Acesso em: 18/06/2023

maior de acidentes com vítimas graves ou fatais. Fora isso, não se pode ignorar o fator humano, de forma que muitas vezes, os motoristas de caminhões e carretas dirigem cansados, e existe ainda a questão da visibilidade, que é menor para esses motoristas, por existirem mais pontos cegos do que em veículos menores. Fora a já citada idade avançada da frota de caminhões no Brasil, a falta de manutenção ou manutenção inadequada, são fatores que também aumentam as chances de falhas em componentes como embreagens, freios, etc.

1.3 Objetivos Gerais

Partindo do pressuposto de que existe uma rede habilitada para a 5ª geração das redes móveis e com cobertura adequada, este trabalho buscou demonstrar que o uso da rede 5G associado à computação de borda, deve possibilitar o desenvolvimento de um sistema de alerta, para envio de notificações entre veículos, infraestruturas e vice-versa, em tempo real, nas regiões rurais e remotas, inclusive e principalmente nas rodovias, para alertar quando da ocorrência de acidentes e outras situações perigosas. Visou também demonstrar, através de um simulador, algumas das mais variadas situações de acidentes que ocorrem diariamente nas estradas e rodovias, e mais especificamente, do ponto de vista do objeto principal deste trabalho, que foi de simular a comunicação entre veículos, através do envio de mensagens de alerta de velocidade, e com isso, dar tempo ao motorista para que ele possa frear ou desviar.

1.4 Objetivos Específicos

- Realizar as configurações, testes e validações necessárias, para demonstrar através de um simulador, um sistema de comunicação veicular, nas diferentes situações de tráfego, de forma que tal sistema seja capaz de enviar e receber dados de velocidade de outros veículos e com isso, através da implementação de um algoritmo, ter tempo suficiente para frear o veículo nos casos em que isso seja necessário.

2

Fundamentação Teórica

2.1 Internet dos Veículos

A Internet dos Veículos (IoV - Internet of Vehicles) é tida como uma arquitetura de rede heterogênea e pode ser categorizada em cinco tipos de comunicação veicular: *vehicle-to-vehicle* (V2V) ou veículo para veículo, *vehicle-to-infrastructure* (V2I) ou veículo para infraestrutura, *vehicle-to-roadside unit* (V2R) ou veículo para unidade de beira de estrada, *vehicle-to-sensors* (V2S) ou veículo para sensores e *vehicle-to-pedestrians* (V2P) ou veículo para pedestres (Islam; Hossan; Jang, 2018). Pode-se dizer que o conceito de IoV nos leva a uma capacidade de comunicação veicular que vai além dos cinco tipos supramencionados, e que na verdade abrange também esses tipos, que seria a comunicação *vehicle-to-everything* (V2X), ou seja, de veículo para tudo ou qualquer coisa.

A IoV também pode ser designada por V2X, levando-se em conta que espera-se realizar a troca de informações entre veículos e todas as entidades que tenham a capacidade de afetá-lo, e o principal objetivo disso, é a redução de acidentes, diminuição do tráfego, e o provimento de outros serviços de informação. A comunicação V2X engloba os cinco principais tipos de comunicação veicular (V2V, V2I, V2R, V2S e V2P), embora não se limite a eles (B. Ji et al., 2020).

A IoV é conceituada como um conjunto de tecnologias e aplicativos que utilizam a comunicação sem fio para fornecer conectividade entre veículos de todos os tipos, entre veículos e infraestrutura rodoviária, e entre veículos, infraestrutura e dispositivos sem fio, com o propósito de melhorar a segurança, a mobilidade e o meio ambiente (Zheng; Ran; Huang, 2017).

Hichri et al. (2021), destaca que a IoV permite a comunicação veicular de forma independente, por meio de uma gama de sensores externos, a exemplo do GPS, câmeras, sensores e atuadores automotivos internos (freios, acelerador, etc.) capazes de coletar uma grande

variedade de informações e com isso, acabam transformando veículos em fontes de dados. Além de fornecer a comunicação sem fio entre veículos, pedestres, estradas e à própria internet, existem outros serviços que podem ser utilizados em uma rede IoV, a saber, gerenciamento de tráfego inteligente, detecção de congestionamento de tráfego, infoentretenimento, aviso de colisão, etc. O autor ainda destaca que de acordo com o departamento de transportes do EUA, veículos conectados tendem a melhorar a segurança, e se não for possível eliminar, mas será possível reduzir em quase 80% a gravidade dos acidentes rodoviários.

Por conta do progresso veloz do Sistema de Transporte Inteligente (ITS - intelligent transportation system) e da padronização 5G, as aplicações de segurança rodoviária precisam ser ainda mais aprimoradas para garantir os rigorosos requisitos de rede e serviço. Neste escopo, veículos conectados e autônomos são construídos para se tornarem mais inteligentes. Eles são equipados com sensores inteligentes e recursos de comunicação que permitem a interação com o ambiente ao redor. Consequentemente, os veículos se comunicam com pedestres e ciclistas segurando smartphones (V2P) e com a infraestrutura (V2I). Além disso, eles se comunicam com outros veículos (V2V) e com a rede (V2N) para trocar informações de contexto e dados ambientais (Zoghلامي et al., 2022).

Este tipo de transporte inteligente se enquadra na categoria de comunicação V2X. O sistema reside em várias redes de subcomunicação, como veículo para veículo (V2V), veículo para rede (V2N), veículo para infraestrutura (V2I) e veículo para pedestres (V2P). Na última década, as redes V2X têm capturado o interesse de pesquisadores no domínio da IoT e da comunicação de sistemas em geral. A disseminação de tais sistemas sofisticados é vista como um marco que transformará o futuro das redes veiculares para sempre. As redes V2X oferecem estradas seguras, transporte eficiente e espera-se que surjam muitas aplicações paralelas (Abood, M. S. et al., 2023).

Em um sistema IoV, um veículo é tido como o nó mais importante e todos os serviços são baseados nele. Desse modo, ele atua de maneira simultânea como transmissor, receptor e retransmissor de informações. Há de se considerar entretanto, que a natureza móvel e dinâmica dos veículos, pode acabar impactando com frequência seus canais de comunicação, ocasionando falhas de compartilhamento/recebimento de informações de ou para pedestres, veículos ou infraestruturas. Considerando isso, o fornecimento de acesso contínuo, bem como a troca de dados fidedígnos em tempo real, são fatores cruciais quando se pretende projetar uma arquitetura IoV (Hichri et al., 2021).

Adelantado, F. et al. (2023), enfatiza que a IoV é caracterizada principalmente pela coleta massiva de dados fornecidos especialmente por sensores de veículos e de infraestruturas, transferidos para a rede ou compartilhados entre veículos e processados para alimentar algoritmos inteligentes para aprimorar o gerenciamento e orquestração da rede. Estima-se que cada veículo conectado pode gerar ou consumir mais de 40 TB de dados a cada oito horas,

esticando assim a capacidade das redes ao limite e exigindo o processamento de uma vasta quantidade de dados, e em alguns casos em tempo real. A comunicação entre nós, deve ser capaz de suportar altas taxas de dados, alta confiabilidade e comunicações de baixa latência.

De acordo com Yang et al. (2016), a IoV disponibiliza muitos serviços, e isso inclui aplicativos de segurança (detecção de colisão, aviso de alteração de faixa), gestão inteligente e sustentável do transporte (controle de sinal de tráfego, programação inteligente de tráfego e gerenciamento de frota), além de serviços dependentes de localização (ponto de interesse e otimização de rotas) e também provê o acesso à internet.

As Unidades de Beira de Estrada (*RSUs - Road Side Units*) são compostas por antenas, com objetivo de recepção e transmissão de dados, ampliação do alcance da rede, e também podem atuar como um gateway, ou seja, um dispositivo que faz uma conexão entre duas ou mais redes. Através de sensores instalados nos veículos, pode-se obter informações de monitoramento do veículo, como por exemplo, velocidade, rotação do motor, temperatura de arrefecimento do motor, sensor da porta, sensor do óleo do motor, sensor do cinto de segurança, etc., e a partir disso, tais informações poderão ser utilizadas internamente ou compartilhadas entre os dispositivos da rede, por meio das cinco formas de comunicação citadas anteriormente. Unidades de Gerenciamento de Estrada (*RMUs - Road Management Units*) são uma outra nomenclatura utilizada para se referir às unidades de beira de estrada, e elas são mencionadas em muitos trabalhos dessa forma.

2.2 Rede 5G

A União Internacional de Telecomunicações (*UIT - International Telecommunication Union*), que junto com o *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, configuram as duas principais entidades mundiais responsáveis pela padronização das redes móveis de quinta geração (5G), destacou a existência de um grande aumento na expectativa da indústria quanto aos próximos passos relativos à tecnologia 5G, com objetivo de formar uma sociedade totalmente conectada por volta de 2020 e além; e dessa maneira, pessoas, coisas, dados, aplicativos, sistemas de transporte e cidades irão se comunicar dentro de um ambiente de redes inteligentes. A UIT identifica a tecnologia 5G como IMT-2020.

A formalização do padrão da tecnologia de rede móvel de 5ª geração (5G), teve sua especificação definida pelo 3GPP em dezembro de 2017, e dentro em breve o lançamento da segunda fase do 5G nominada como 3GPP Release 16. O fator determinante para a alta velocidade e baixa latência do 5G, é a utilização de um espectro de banda alta (citado como onda milimétrica) (Yu Tang et al., 2021).

No que diz respeito às redes móveis, alguns benefícios trazidos pela rede 5G são: latência reduzida, alta densidade de conexão, altas taxas de transferência, eficiência espectral apri-

morada, conectividade contínua, ampla cobertura, maior eficiência energética da rede, dentre outros. Apesar disso, as pesquisas mostraram a necessidade da associação da rede 5G com outras tecnologias como a *Edge Computing*, *Base Stations*, *Small Cells*, *Cloudlets*, etc., para que essas trabalhando em conjunto, consigam atender as necessidades e solucionar os gargalos encontrados em regiões remotas.

Várias são as aplicações e serviços suportados pelo 5G, e dentre eles podemos citar os serviços de entretenimento, mídias sociais e educação dentro do contexto rural, e além desses, as aplicações de IoT a exemplo do agronegócio, logística, mineração e meio ambiente, gado, monitoramento de desastres e serviços rodoviários (Cavalcante et al., 2021).

Um outro recurso disponibilizado pelo 5G é o fatiamento de rede, que possibilita às operadoras de celular, a criação de redes virtuais utilizando a mesma infraestrutura física compartilhada, de forma que é possível dedicar partes da rede a determinados casos de uso do cliente. Diferentes frações da rede, bem como, seus recursos, podem ser dedicadas a diferentes provedores de aplicações, e que por sua vez, podem ter diferentes requisitos. Um exemplo disso, são aplicações que demandam altas taxas de transferência, e que para esses casos, podem ser alocadas a essas aplicações, uma fatia de rede diferente das aplicações que conseguem trabalhar com taxas de transferência mais baixas (Tanenbaum et al., 2021).

A arquitetura de um sistema 5G oferece a oportunidade de atender a um grande conjunto de requisitos de aplicativos V2X, e dessa forma, funções de rede são definidas em vez de entidades de rede, e o plano de controle é centralizado em serviços em vez de interfaces. Ademais, a introdução de fatiamento de rede e virtualização oferece mais flexibilidade e aumenta a inteligência no que se refere ao gerenciamento de rede. Além de proteger a rede por meio do isolamento lógico, onde a falha de uma fatia não afeta a operação das outras, o fatiamento de rede reduz o custo ao compartilhar a mesma infraestrutura física. Outrossim, ele aumenta a flexibilidade ao habilitar fatias de rede personalizadas para diferentes cenários e gerenciar os recursos de rede em tempo real (Zoghلامي et al., 2022).

Algumas das aplicações da rede 5G podem ser implementadas em cenários que tenham a necessidade de alta vazão, baixa latência, comunicação entre máquinas e acesso em áreas remotas, que foi o foco principal desse trabalho. Um dos principais objetivos para a utilização das redes 5G compreende a IoV, dado que as redes atuais não suportam o incremento de tráfego necessário para que o envio e recebimento de dados seja realizado em tempo real.

Dentro desse contexto, foi observada a grande importância da utilização da rede 5G para o envio dos alertas entre os veículos, considerando sua capacidade de conectar 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado, inclusive em altíssima velocidade (aproximadamente 500 km/h), e com a latência minúscula de 1ms. Com isso, será possível atender a necessidade de urgência para a chegada das mensagens enviadas de um veículo a outro, que se dará praticamente em tempo real, e assim, viabilizará uma ação a tempo, por parte dos condutores.

2.3 Computação de Borda

A computação de borda foi proposta para novos tipos de serviços em nuvem, que precisam de infraestrutura computacional na borda da rede. Estudos recentes propõe a integração da computação de borda com os princípios da computação em nuvem para fornecer serviços mais complexos na borda da rede, visando reduzir a carga na nuvem centralizada e evitar gargalos e pontos únicos de falha (Jararweh et al., 2016). Exemplos de propostas de computação de borda são a Computação em Névoa (*FOG - Fog Computing*) e a Computação de Borda Móvel (*MEC - Mobile Edge Computing*), que tem como meta reduzir significativamente a latência ponta-a-ponta, o que permitirá que as aplicações consigam executar suas tarefas de forma adequada.

Brehon–Grataloup et al. (2022), destaca que uma arquitetura MEC (aqui nominada como computação de borda multiacesso) composta por três camadas, sendo a camada superior dos servidores na nuvem, a do meio a dos servidores de borda (*Cloudlets*), e a de nível inferior à de dispositivos finais, tem como proposta trazer uma possível solução para as questões da baixa vazão e alta latência.

A computação de borda oferece suporte a aplicações de IoT e consequentemente de IoV, já que essa última deriva da IoT, e tem como principais limitações a alta latência, necessidade de mobilidade e grande distribuição geográfica. Um dos principais benefícios trazidos pela computação de borda, é a capacidade de levar os aplicativos, para próximos da geração das fontes de dados, proporcionando através disso, a computação, processamento e armazenamento para os mais diversos dispositivos de IoT, IoV, cloudlets, etc.

Segundo Y. Zheng et al. (2020), a computação de borda móvel (MEC) surgiu com o objetivo de lidar com os grandes atrasos de transmissão e congestionamento da rede. É um novo paradigma e tem a finalidade de aproximar a computação e o armazenamento dos dados, do local onde são gerados, e isso consequentemente irá otimizar os tempos de resposta e recursos que dizem respeito ao espectro. Isso permitirá mais disponibilidade dos servidores em nuvem que estiverem alocados nas proximidades ou dentro da estação base, e um outro benefício da plataforma MEC, é a redução da latência fim-a-fim a partir dos terminais móveis. A implementação da MEC na IoV, permitirá que tarefas de computação intensiva que forem geradas por veículos, sejam descarregadas e processadas em servidores de borda próximos, e isso evitará a sobrecarga de recursos na CPU de dispositivos de borda, que em geral possuem capacidade computacional limitada.

Aplicações para veículos em movimento normalmente incluem uma variedade de tarefas críticas de latência, exigindo latência ultrabaixa, de forma a garantir a qualidade do serviço (QoS) dos usuários ou para realizar funcionalidades práticas. No entanto, é desafiador para os veículos em movimento lidar com essas tarefas críticas de latência porque os recursos de computação física implantados nos veículos são limitados. Como uma solução promissora, a

computação de borda móvel (MEC) que na verdade é uma extensão da computação em nuvem, pode efetivamente fornecer recursos de computação para veículos em movimento. Ao descarregar tarefas críticas de latência para unidades de beira de estrada (RSUs) com servidores de borda implantados, a MEC diminui substancialmente a latência e o consumo de energia de veículos em movimento, o que é geralmente conhecido como descarregamento de computação (Liu et al., 2022).

Nkenyereye et al. (2023), define o MEC como uma tecnologia avançada que inclui servidores distribuídos na borda da rede para dar suporte a vários aplicativos e serviços que exigem latência ultrabaixa. Em sistemas veiculares assistidos por MEC, um aplicativo móvel de computação pode ser executado no próprio veículo (execução local) ou descarregado para um servidor MEC (execução de borda) para computação. Os sistemas veiculares assistidos por MEC fornecem um suprimento de vários serviços de nuvem baseados em V2X por meio da distribuição e integração de servidores veiculares assistidos por MEC distribuídos.

A computação de borda se tornou popular na última década para atender às necessidades dos aplicativos emergentes da Internet das Coisas (IoT), como veículos autônomos, realidade aumentada, IoT da indústria, etc., e que possuem requisitos rigorosos de latência, confiabilidade e escalabilidade. A computação de borda leva a computação, o armazenamento e outros serviços para mais perto das fontes de dados, e isso acaba indo de encontro a preocupações provenientes da computação em nuvem, como custo, latência, congestionamento de largura de banda, escalabilidade e privacidade. Além disso, a computação de borda continuará a evoluir para dar suporte a análises e ações em tempo real nos dispositivos e conseqüentemente dar suporte à inteligência dentro da rede (Sahni et al., 2022).

Conforme já mencionado, a utilização em conjunto da rede 5G com a computação de borda, tem a capacidade de melhorar diversos serviços relacionados com a infraestrutura de rede, principalmente no que diz respeito a locais remotos. As pesquisas realizadas indicaram os prováveis benefícios da associação da computação de borda junto à rede 5G, sobretudo no contexto da IoV, dada sua natureza dinâmica e proposta de comunicação V2X em tempo real.

2.4 Simulador CARLA

O simulador CARLA foi escolhido para esse trabalho, pelo fato dele possuir em seu ecossistema, um ambiente realístico, com veículos que simulam a física de veículos reais, além de uma infraestrutura de rede veicular preexistente, que possibilita a comunicação entre os veículos e inclusive a comunicação entre veículos e qualquer outro elemento dentro do simulador, e isso representaria o funcionamento da IoV no mundo real. Ajustes nas configurações do simulador, além da implementação de scripts escritos em Python, fazem com que essas comunicações sejam feitas do mesmo modo que a IoV se propõe a realizar, ou

seja, com os veículos em movimento, e praticamente em tempo real, e isso pôde ser observado nas simulações, quando por exemplo na ocorrência de uma colisão na pista, um veículo trafegando na mesma via e em direção ao acidente, recebia uma mensagem de um ou mais veículos envolvidos no acidente, e com isso ele tinha tempo hábil para frear o veículo.

Segundo Dosovitskiy et al. (2017), o CARLA (Car Learning to Act) possui código aberto e foi desenvolvido inicialmente com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento, treinamento e validação de sistemas autônomos de direção urbana. Ele possibilita a configuração flexível de conjuntos de sensores, e isso foi um ponto primordial para este trabalho, já que os dados para envio a partir dos veículos foram provenientes de seus sensores internos, mais especificamente, dados de velocidade e aceleração, e para mais, os dados de localização foram um outro ponto fundamental, levando-se em conta que foi necessário saber a localização exata de pontos nas cidades, para a correta alocação tanto de veículos, quanto de outros elementos do simulador. Fora isso, o CARLA possibilita diversas estratégias de direção, a partir das coordenadas de GPS e dados de velocidade e aceleração, além de dados detalhados sobre colisões e outras infrações, e também, o simulador propicia o controle do ambiente, simulação de diversas situações de tráfego, criação de mapas personalizados, etc.

O CARLA é composto por layouts urbanos, diversos modelos de veículos, placas de rua, edifícios e até pedestres. Fora isso, são fornecidas aos usuários informações sobre a posição dos veículos, sua orientação, velocidade, aceleração, além de dados minuciosos sobre colisões, e inclusive é possível especificar o tempo e a hora do dia. Os autores ainda citaram a necessidade da implementação de RMUs (*Road side Management Unit*), tendo em vista que podem ser usadas para apoiar o motorista e fornecer assistência à direção, pois estão integradas à infraestrutura viária, coletam e divulgam informações que auxiliam os motoristas a evitar acidentes da melhor forma possível, a partir da distribuição de posições e direções dos carros em faixas selecionadas (Gharib; Dias da Silva; Ceccarelli, 2021).

Apesar do simulador CARLA ter sido criado para direção urbana, nada impede sua utilização em ambientes como rodovias, até porque, as complexidades encontradas na direção urbana são bem maiores do que as encontradas nas rodovias, considerando por exemplo, a existência de pedestres, cruzamentos, regras de trânsito, semáforos, etc. Um outro ponto importante, é a possibilidade da utilização de objetos como RSUs, e que no trabalho supracitado, tais objetos são referidos como RMUs, e como já foi visto, apesar das diferenças das siglas, eles possuem o mesmo papel, que é o de transmitir e receber informações dos veículos, através das comunicações I2V e V2I.

O CARLA foi implementado como uma camada de código aberto Unreal Engine 4 (UE4), e este mecanismo de simulação, consegue disponibilizar ao CARLA uma física hiper-realista e também um ecossistema de plugins interoperáveis. Dessa forma, o CARLA consegue simular um mundo totalmente dinâmico, e proporciona uma interface simples entre um agente que interage com o mundo e consigo mesmo. Para conseguir suportar essa funcionalidade, o CARLA foi concebido como um sistema servidor-cliente, de maneira que a simulação é

executada e renderizada pelo servidor. O ambiente do CARLA é composto por modelos 3D de objetos estáticos a exemplo de infraestruturas, edifícios e vegetação, além de objetos dinâmicos como veículos, ciclistas ou pedestres. Todos eles são projetados usando modelos geométricos e texturas leves, mas mantendo o realismo visual, devido a um nível variável de detalhes e elaboração cuidadosa dos materiais (Carlos Gómez-Huélamo et al., 2022).

Unreal Engine é o motor de desenvolvimento, que alimenta o CARLA e que ele se baseia para executar as simulações, e se trata de um dos motores de jogos mais utilizados por equipes de desenvolvimento de jogos, e desenvolvedores nos mais diversos segmentos, e dessa maneira, pode-se dizer que ele é um elemento fundamental no que diz respeito ao desenvolvimento dessas produções virtuais. Unreal Engine 5 é a versão atual do software e ela possibilita que os desenvolvedores criem conteúdos e experiências 3D com mais facilidade, e fora isso, ele possui ferramentas aprimoradas de animação e desenvolvimento. Sua tecnologia ajuda a projetar mundos 3D poderosos e escaláveis de forma simples, direcionados a uma ampla gama de indústrias, a saber, arquitetura, eventos ao vivo, cinema e televisão, além de automotivo e transporte.

CARLA é um simulador de código aberto para pesquisa de direção autônoma construído sobre o Unreal Engine 4 e fornece aos desenvolvedores um conjunto completo de APIs para modelagem, detecção e controle de ambientes físicos detalhados. O CARLA oferece um notável nível de realismo físico e gráfico, e em particular, disponibiliza um conjunto completo de sensores integrados (câmeras, radar, LiDAR) e um sofisticado modelo de dinâmica do veículo (Cislaghi, Valerio et al., 2023).

De acordo com Carlos Gómez-Huélamo et al. (2022), na perspectiva dos sensores, o conjunto de sensores do CARLA pode ser modificado de maneira flexível. Dentre os sensores mais comuns podemos citar as câmeras LiDAR (Light Detection and Ranging) ou seja, é um sensor remoto que emite pulsos de luz laser para medir distâncias e criar representações tridimensionais, e de uma forma geral, serve para medir com maior precisão tanto ambientes quanto objetos; Câmeras RGB (Red-Green-Blue) que são adequadas para caracterizar objetos com base em sua forma e cor; Além do GPS. Existe ainda, seus pseudo-sensores correspondentes, que proporcionam segmentação semântica e profundidade de verdade. Fora isso, com relação aos parâmetros da câmera, estes incluem orientação e posicionamento 3D em relação ao sistema de coordenadas do veículo, campo de visão e profundidade do campo.

Não se pode desprezar o fato de que o simulador apesar de já bem robusto, ainda está em desenvolvimento, incluindo sua integração com as tecnologias abordadas neste trabalho, e sobre essas últimas, tanto a IoV, quanto a Computação de Borda e até mesmo a Rede 5G, são todas tecnologias emergentes e que também estão em desenvolvimento e são o foco de inúmeros pesquisadores mundo afora. Nesse sentido, a proposta do trabalho foi a de indicar uma possível solução a médio e longo prazo, para os problemas abordados aqui.

3

Trabalhos Relacionados

3.1 Trabalhos Relacionados

Silva (2019) apresentou em seu trabalho a proposta de desenvolvimento de um sistema embarcado de diagnóstico veicular, com um servidor local e na nuvem, e integrado a um ambiente inteligente (AmI) de uma casa. O sistema teria a capacidade de conectar o veículo ao ambiente inteligente, e este último seria capaz de notificar o motorista através de um dispositivo conectado à este ambiente, ao detectar parâmetros anormais de funcionamento do veículo. Dessa forma o motorista poderia se antecipar e tomar as providências necessárias para evitar mais problemas e consequentes prejuízos. O trabalho teve como principal contribuição a integração automática do veículo com o ambiente da casa (AmI), que por sua vez, enviava notificações para o smartphone do motorista, ao detectar padrões anormais do veículo. Os resultados indicaram que o sistema funcionou ao detectar outliers no sensor de temperatura de arrefecimento do motor, e após isso, os dados foram transmitidos do dispositivo embarcado para o servidor na nuvem, depois para o ambiente inteligente da casa, que por sua vez coletava e detectava a discrepância, e logo depois, enviava uma mensagem para o smartphone do motorista através de aplicativo de mensagem.

Mansano (2017) demonstrou uma plataforma e um framework, que realizava a captura e envio de dados veiculares para um servidor central na nuvem através de uma rede 4G. No processo de captura eram realizadas as leituras dos dados a cada 5 segundos, com um determinado carro em movimento. Após um conjunto de leituras ter sido finalizado, melhor dizendo, quando os dados de todos os sensores eram extraídos, uma mensagem era enviada ao servidor. Este servidor executava uma aplicação que aguardava o envio de dados e quando estes dados eram enviados, o servidor os salvava em um arquivo local até atingir um limite mínimo de 90 observações. Os dados extraídos, enviados e armazenados eram: Rotação do

motor, Temperatura do motor, e Velocidade do veículo. Para o desenvolvimento da plataforma, bem como do framework, foi utilizado o Automotive Grade Linux (AGL), que se trata na verdade de um sistema desenvolvido pela Linux Foundation, para o desenvolvimento de aplicações de informação e entretenimento automotivo. Para permitir a comunicação com a nuvem, o AGL foi utilizado em conjunto com uma placa Raspberry Pi 3, um módulo de comunicação CAN e um Smartphone. A proposta do trabalho era a criação de um framework base para projetos de IoV, utilizando apenas ferramentas de software livre, e de acordo com os resultados obtidos, o framework se mostrou capaz de capturar, processar e enviar dados veiculares de forma remota, indicando que pode ser utilizado como base para projetos de Internet dos Veículos.

Bezerra (2019), utilizando um protocolo de roteamento colaborativo para transmissão de vídeos, com o uso da computação em névoa em redes ad-hoc veiculares (*VANET - Vehicular Ad-Hoc Network*), trouxe a proposta de criação de um cluster, inserido numa rede veicular VANET, e que através de um algoritmo de um protocolo de roteamento colaborativo, visava a colaboração dos veículos do cluster entre si, e a transmissão de vídeos de acidentes ou desastres gravados pelos veículos inseridos no cluster, objetivando por exemplo, a tomada de decisões, como a escolha de rotas alternativas ou mudança de veículos fontes dos vídeos. Para tal, foi introduzido um Protocolo de Roteamento Colaborativo para Transmissão de Vídeo por meio de uma comunicação de Veículo para Veículo (*V2V - Vehicle to Vehicle*), através de uma VANET, denominado de Collaborative Routing Protocol for video streaming in VANETs (CRPV). Foi utilizado um simulador de rede para medir a Qualidade do Serviço (*QoS - Quality of Service*), ou seja, que garantisse uma comunicação eficiente e confiável entre os veículos. Os resultados da simulações indicaram que o protocolo CRPV apresentou excelentes resultados de QoS quando comparado com os protocolos SRB e PASSCAR, e demonstrando também melhor desempenho do protocolo CRPV ao preservar a Qualidade de Experiência (*QoE - Quality of Experience*) do usuário, que garante o mínimo de qualidade dos vídeos transmitidos. As simulações apresentaram a taxa média de perda de pacotes nos clusters proporcionada pelos protocolos de roteamento CRPV, SRB e PASSCAR, e observou-se que a taxa de perda proporcionada pelo protocolo CRPV foi menor do que a taxa proporcionada pelos outros protocolos. Isso se deu por conta do menor tempo gasto pelo protocolo CRPV para redirecionar o fluxo de um veículo para outro. Os testes demonstraram que o protocolo CRPV detectou mais rapidamente veículos que entravam e saíam do cluster, ao contrário dos protocolos PASSCAR e SRB, que gastaram mais tempo para identificar a quebra do enlace de um veículo ou a entrada de um novo veículo no cluster.

Barradas (2017) objetivando a segurança dos veículos, realizou um amplo estudo dentro do contexto das redes veiculares, incluindo a condução autônoma, tendo sido inclusive realizados testes teóricos de condução autônoma na cidade de Lisboa. Um ponto focal do

trabalho foi a implementação de uma arquitetura de rede veicular para ambientes urbanos e capaz de atender a diferentes situações de tráfego. Um dos objetivos dentro da pesquisa foi o de compreender quais tecnologias eram necessárias para se ter uma rede capaz de captar e distribuir dados em tempo real a partir dos sistemas de transporte em ambientes urbanos, e para isso, buscou-se entender o estado da arte das redes ad-hoc veiculares (*VANET - Vehicular Ad-Hoc Network*), dos Sistemas de Transporte Inteligente (ITS - intelligent transportation system), bem como, os tipos de comunicação V2V e V2I, além das aplicações que estão inseridas nesse tipo de rede, como por exemplo, detecção de colisões, planejamento de rotas, resolução de congestionamentos, dentre outras. A partir dos estudos e testes realizados, foi possível observar que em redes ad-hoc, os veículos só conseguiam transmitir dados entre si apenas quando estavam muito perto uns dos outros, tornando a comunicação impossível quando existiam poucos veículos, e nesse caso, a comunicação V2I foi indicada como uma potencial solução para locais onde existia pouca densidade veicular. Os resultados do trabalho mostraram que a comunicação IEEE802.11p não se mostrou eficiente para a V2I, e isso por conta de seu curto alcance, mas por outro lado a comunicação LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*) se mostrou como sendo a tecnologia mais adequada para a comunicação V2I. Também foi observado que as estações base deveriam ser instaladas ao longo da via a aproximadamente 400 em 400 metros, e dessa maneira, foi possível garantir uma zona de sobreposição onde eram realizadas as transmissões de dados.

Apesar de que a abordagem principal deste trabalho foi o monitoramento de veículos a partir de seus sensores internos (GPS, velocidade e aceleração), ele se diferenciou dos trabalhos supramencionados em vários aspectos, e podemos citar: O foco deste trabalho não foi a construção e composição de um dispositivo embarcado no veículo, e na verdade a ênfase aqui foi mostrar a importância e forma como seus componentes precisam se comunicar interna e externamente, mas principalmente, quais tecnologias são necessárias para tal. Dentro disso, podem ser citadas: A utilização da tecnologia de computação de borda para processamento, acesso, armazenamento e disponibilização dos dados mais próximos à sua fonte geradora; O emprego da rede 5G para a comunicação com baixíssima latência e alta vazão entre os dispositivos da rede; Além da principal diferença, que foi a utilização e associação de todas essas tecnologias numa rede veicular, tornando possível a comunicação V2X através da IoV. Fora isso, foi utilizado um simulador de código aberto que é usado para pesquisa de direção autônoma, chamado CARLA, e apesar deste trabalho não ter abordado especificamente veículos autônomos, decidimos utilizar este simulador por conta da amplitude de recursos e possibilidades que ele proporciona, a saber, configuração de sensores, controle do ambiente incluindo objetos estáticos e dinâmicos, geração de mapas, além de ser possível a definição e simulação de diferentes situações de tráfego, e por fim, a comunicação veicular, sendo este último o mais relevante para a decisão do uso desta plataforma de simulação.

4

Revisão Sistemática

4.1 Revisão Sistemática da Literatura

4.1.1 Objetivo

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, e tal pesquisa teve como objetivo realizar uma investigação para que a partir dela, fosse possível entender o estado da arte e obter respostas para questões que dizem respeito à cobertura limitada da rede móvel, indisponibilidade da rede, ausência de banda larga, baixa vazão e alta latência ponta a ponta, em regiões rurais e remotas, como usinas, fazendas, etc. Para tornar isso possível, foram selecionadas quatro questões de pesquisa e uma questão principal, a saber:

Questão principal:

- Como o 5G pode aprimorar o uso de redes móveis em áreas rurais?

Questões de pesquisa:

- Como solucionar o problema da baixa cobertura das redes móveis em áreas rurais?
- Como solucionar o problema da conexão instável nas áreas rurais?
- Como solucionar o problema da baixa vazão nas áreas rurais?
- Como solucionar o problema da alta latência nas áreas rurais?

A partir dos estudos realizados e respostas encontradas para as quatro questões de pesquisa, foi possível chegar a um entendimento de quais seriam as principais tecnologias e quais as formas de aplicação mais adequadas para os cenários abordados neste trabalho, e isso contribuiu para responder a questão principal.

4.1.2 Metodologia

A ferramenta utilizada para realizar a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi a plataforma Parsifal, encontrada no endereço <https://parsif.al/>. A principal utilidade do Parsifal é a realização da RSL de forma estruturada e organizada, sendo possível salvar e manter o histórico de todos os avanços, além de ser possível exportar os resultados.

As pesquisas foram realizadas entre os meses de agosto e dezembro de 2022, limitando-se a artigos entre 2017 e 2022 e escritos na língua inglesa. Esse intervalo de tempo se deu porque houve o entendimento de que para o contexto desse trabalho, seria mais adequado artigos que abrangem os últimos cinco anos. Da mesma forma, foram definidas três bases de dados primordiais, a partir da percepção de que o conteúdo delas estaria mais voltado para o escopo do trabalho. As principais fontes de pesquisa se deram a partir das bases de dados descritas na tabela 4.1:

Base de Dados	URL
IEEE Digital Library	https://ieeexplore.ieee.org
Scopus	https://www.scopus.com
ACM Digital Library	http://portal.acm.org

Tabela 4.1: Bases de dados para a RSL

O protocolo utilizado nesse processo, foi composto pelos objetivos, método PICOC, questões de pesquisa, palavras-chave e sinônimos, strings de busca, fontes e critérios de seleção, como se segue:

Método PICOC:

- **População:** Áreas rurais;
- **Intervenção:** Análise da aplicação das tecnologias: Edge Computing, Cloudlet, 5G Network, Small Cell e Base Station;
- **Resultados:** Solução para a baixa cobertura da rede móvel, conexão instável, baixa vazão e alta latência nas áreas rurais;
- **Contexto:** Usinas, fazendas e locais remotos de uma forma geral.

Strings de busca: ("farm"OR "rural") AND ("5G").

Palavras-chave: 5G Network, Base Station, Cloudlet, Edge Server, Edge Computing, Farm, High Latency, Low Throughput, Mobile Network Coverage, Rural Area, Small Cell, Unstable Connection.

Um ponto a se destacar, é que foram utilizadas apenas duas strings de busca, e o motivo disso, foi que quanto mais se adicionava strings, mais restrita ficava a busca dentro do Parsifal, e acarretava numa quantidade ínfima de trabalhos encontrados, tendo sido necessário deixar dessa forma para que se pudesse obter mais resultados nas buscas.

Na tabela 4.2 estão descritos os critérios de inclusão e exclusão utilizados na RSL.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Artigos escritos na língua inglesa	Artigos que foram anulados (retratados)
Artigos publicados entre 2017 e 2022	Artigos que tinham idioma diferente do inglês
Artigos que realizaram estudo primário	Artigos que foram duplicados
Artigos sobre 5G	Artigos em que o foco não foi o 5G
Artigos sobre cobertura	Artigos cujo foco não foi cobertura da rede 5G
Artigos sobre conectividade	Artigos cujo foco não foi conectividade
Artigos sobre redes móveis em áreas rurais	Se o foco não foi redes móveis em áreas rurais

Tabela 4.2: Critérios de Seleção para a Revisão Sistemática da Literatura

4.1.3 Resultados

A seguir são mostrados os resultados alcançados e discussões relacionadas à pesquisa, mas o foco se deu na questão principal da RSL:

Resultados das buscas:

- ACM Digital Library: 336
- IEEE Digital Library: 244
- Scopus: 446
- Total: 1.026 trabalhos

Após a remoção dos trabalhos duplicados, seleção pelos títulos, resumo, e seleção por análise crítica (coerência do estudo, resultados alcançados e conclusão), obtiveram-se:

- Total: 60 trabalhos
- Rejeitados: 13
- Aceitos: 47 (Scopus: 26, IEEE Digital Library: 16, ACM Digital Library: 5)

Vale salientar que vários trabalhos que ficaram de fora da RSL, tratavam da rede 5G por exemplo, mas não especificamente dentro do escopo desse trabalho, a exemplo de vários trabalhos encontrados com propostas de algoritmos de medição ou otimização da rede, aplicações de IoT, agricultura inteligente, etc. Da mesma maneira, vários outros trabalhos traziam soluções de aplicativos ou ferramentas para a área da saúde, voltadas à populações que habitam em regiões rurais e fazendas.

Aqui foram elencadas as soluções consideradas mais relevantes para o trabalho.

A questão principal:

- **Como o 5G pode aprimorar o uso de redes móveis em áreas rurais?** Sobre os resultados para a questão principal, pode-se dizer que:

A rede 5G possui uma gama de benefícios capazes de resolver ou pelo mitigar os principais problemas encontrados nas áreas rurais, no que diz respeito às redes móveis. Alguns desses benefícios são: latência reduzida, alta densidade de conexão, altas taxas de transferência, eficiência espectral aprimorada, conectividade contínua, ampla cobertura, maior eficiência energética da rede, dentre outros. Apesar disso, as pesquisas mostraram a necessidade da associação da rede 5G com outras tecnologias como a Edge Computing, Base Stations, Small Cells, Cloudlets, etc., para que essas trabalhando em conjunto, consigam atender as necessidades e solucionar os gargalos encontrados nessas regiões remotas.

A alta latência em regiões remotas e rurais é uma questão inerente às características e dificuldades encontradas nesses locais. Por outro lado, Najjuuko et al. (2021), enfatiza que dentro do conceito de latência ultrabaixa, a capacidade de atingir a latência zero faz parte da natureza das redes 5G, que são centradas no serviço das redes.

Questões de pesquisa:

- **Como solucionar o problema da baixa cobertura das redes móveis em áreas rurais?** Duas abordagens se destacaram dentro do contexto desse trabalho, a saber, fatiamento de rede com multilocação e a utilização dos Veículos Aéreos não Tripulados (*UAVs - Unmanned Aerial Vehicle*), vejamos:

De um modo geral, no que diz respeito à implantação de tecnologias móveis, as regiões rurais na maioria das vezes são ignoradas, e por conta disso, esses locais se tornam digitalmente isolados do mundo. Uma das alternativas para melhorar a conectividade rural, é o fatiamento de rede 5G com suporte a multilocação (rede host neutra), em que um provedor de infraestrutura (InP) é responsável por implantar a rede 5G, e as operadoras de rede móvel por sua vez, alugam fatias dessa rede ao InP, e fornecem o serviço para o usuário final (Kumar et al., 2020).

S. Shahapur e S. Dasgupta (2019) propuseram uma arquitetura 5G baseada em UAV para zonas rurais na Índia, de forma que os Veículos Aéreos Não Tripulados (drones) são usados como Estações Base (BS) em vez de torres, e isso reduziria bastante o custo total de toda implantação e procedimento. Apesar disso, algumas limitações e desafios foram identificados, como a sobreposição de áreas de cobertura de diferentes UAVs que deve ser minimizada para diminuir a perda de dados, e um outro gargalo é que os UAVs devem ser recarregados periodicamente, de forma que durante os períodos de recarga, outro UAV deve ser implantado temporariamente.

- **Como solucionar o problema da conexão instável nas áreas rurais?** Uma tecnologia que está sendo amplamente estudada para melhorar a cobertura e conseqüentemente a conectividade nas áreas rurais é o *Small Cell*, que são pequenas Estações Base, interligadas entre si, a uma distância de 250 metros umas das outras, e que tem como função principal, amplificar o sinal das Estações Base, nas áreas remotas. Dentro desse contexto, o trabalho a seguir, exemplifica o uso de *Small Cells* (também chamados de SBS – pequenas Estações Base) associados à computação de borda:

Com o intuito de ampliar a capacidade e disponibilidade da rede, são implantadas uma enormidade de pequenas Estações Base (SBSs) próximas aos usuários móveis (MUs) ou dispositivos móveis. As SBSs são capazes de realizar tarefas de computação e armazenamento em cache, e isso se dá, graças aos dispositivos dos quais elas são equipadas. Uma das técnicas utilizadas pelas SBSs é o cache de borda, que por sua vez, é bastante benéfico dentro do contexto das redes 5G (Zeng et al., 2021).

- **Como solucionar o problema da baixa vazão nas áreas rurais?** A baixa vazão é um outro grande gargalo existente nas áreas rurais e remotas, e várias soluções estão sendo estudadas e testadas, no entanto, há uma semelhança entre todas elas: o uso da rede 5G. Nesse contexto, não há como dissociar os termos “latência e vazão”, tão somente, porque a solução de um, resultará na solução do outro, ou seja, se conseguirmos resolver o problema da baixa vazão nas áreas rurais, conseqüentemente solucionaremos a questão da alta latência, e vice-versa. O texto a seguir indica a rede 5G como capaz de solucionar esse problema:

Em adição à grande capacidade de dados da rede 5G e taxas acima de 10Gbps, soma-se o poder de realizar a conexão de bilhões de dispositivos, devido à sua largura de banda. Com velocidades de download e upload que ultrapassarão em até 100 vezes os padrões atuais do 4G e 4G LTE, o 5G poderá baixar um filme de duas horas em menos de quatro segundos, sendo que por outro lado, o mesmo download geralmente dura seis minutos no 4G (Tang et al., 2021).

- **Como solucionar o problema da alta latência nas áreas rurais?**

A computação de borda vem sendo citada em vários trabalhos no sentido de solucionar ou dirimir problemas relacionados à latência da rede, sobretudo nas áreas rurais. Y. Wang et al. (2021) destaca que servidores de nuvem, servidores de borda e dispositivos de borda estão em diferentes camadas de um sistema de computação de borda. Os servidores em nuvem têm alta capacidade de computação, mas longo atraso na transferência de dados. Em contraste, os dispositivos de borda têm baixa capacidade de computação e pequeno atraso de transferência. Os servidores de borda (também chamados de Cloudlets) estão no meio termo. Os autores ainda pontuam que o processamento de demandas da Internet realizado localmente, onde os dados estão, pode reduzir o consumo de largura de banda e a latência da rede.

4.1.4 Discussão

As tecnologias estudadas neste processo são todas tecnologias emergentes, que estão sendo alvo de intensos estudos mundo afora, e portanto, ainda não se tem uma resposta definitiva para alguns questionamentos. Tendo isso em mente, e através de um bom embasamento teórico proveniente das várias pesquisas relacionadas ao tema do trabalho e as tecnologias específicas associadas ao mesmo, é possível estabelecer que para muitas questões as repostas definitivas estão bem próximas.

Na RSL foram estudadas diversas tecnologias além da Rede 5G, e essas tecnologias apareceram em vários trabalhos como sendo tecnologias complementares e que em conjunto com a Rede 5G, contribuíram para várias soluções encontradas nesses artigos, e também para se chegar às respostas para as questões que a RSL se propôs a responder, até porque as pesquisas indicaram que a Rede 5G sozinha, não teria a capacidade de solucionar os problemas levantados neste trabalho, principalmente por conta do contexto em que ele está inserido, que são as regiões rurais e remotas. Por esse motivo não seria possível deixar tais tecnologias de fora da discussão a respeito da RSL, e dentre elas, podem ser citadas a Computação de Borda, Computação em Névoa, Servidores de Borda/Cloudlets, Arquitetura MEC, Estações Base, e Small Cells. Nos próximos parágrafos essas tecnologias são abordadas com maior profundidade.

Cloudlets ou servidores de borda, são data centers de pequena escala em nuvem, com mobilidade aprimorada, e fornecem os serviços que a nuvem fornece (processamento, armazenamento e computação), sendo que são instalados e executados na borda da rede. São utilizados como uma extensão da nuvem, onde os mesmos são conectados às estações base através de um link de banda larga e recebem os dados vindos dessas estações e que por sua vez, foram transmitidos por dispositivos móveis ou veículos que recebem cobertura dessas estações base.

De acordo com (Shi et al., 2016), a computação de borda disponibiliza um meio pelo qual a comunidade agrícola tem a possibilidade de acessar e utilizar de forma mais eficaz, os serviços inseridos na agricultura inteligente. Pode ajudar a mitigar o problema de acesso à Internet nesses locais, mas não eliminá-lo.

A arquitetura MEC (computação de borda móvel/multiacesso) projetada pelo ETSI, que é o grupo de pesquisa que supervisiona o MEC, se trata de uma arquitetura de três camadas, onde temos na camada superior o núcleo da rede, que é onde estão localizados os servidores em nuvem. Na camada do meio temos a Edge, onde estão inseridos os dispositivos MEC, também descritos como servidores de borda ou cloudlets, e fazem uma interface entre os usuários finais e serviços da nuvem, já que hospedam uma determinada quantidade de recursos de computação em nuvem. Por fim, na primeira camada estão os dispositivos móveis e usuários finais, que realizam solicitações de recursos da nuvem para suprir a demanda de seus vários aplicativos.

Os servidores de borda estão localizados próximos às estações base de celular (BS) e pontos de acesso à rede, o que faz com que a distância entre o provedor de recursos e o usuário final seja reduzida. Apesar de menores que os servidores em nuvem, eles são capazes de lidar com tarefas que exigem muitos recursos.

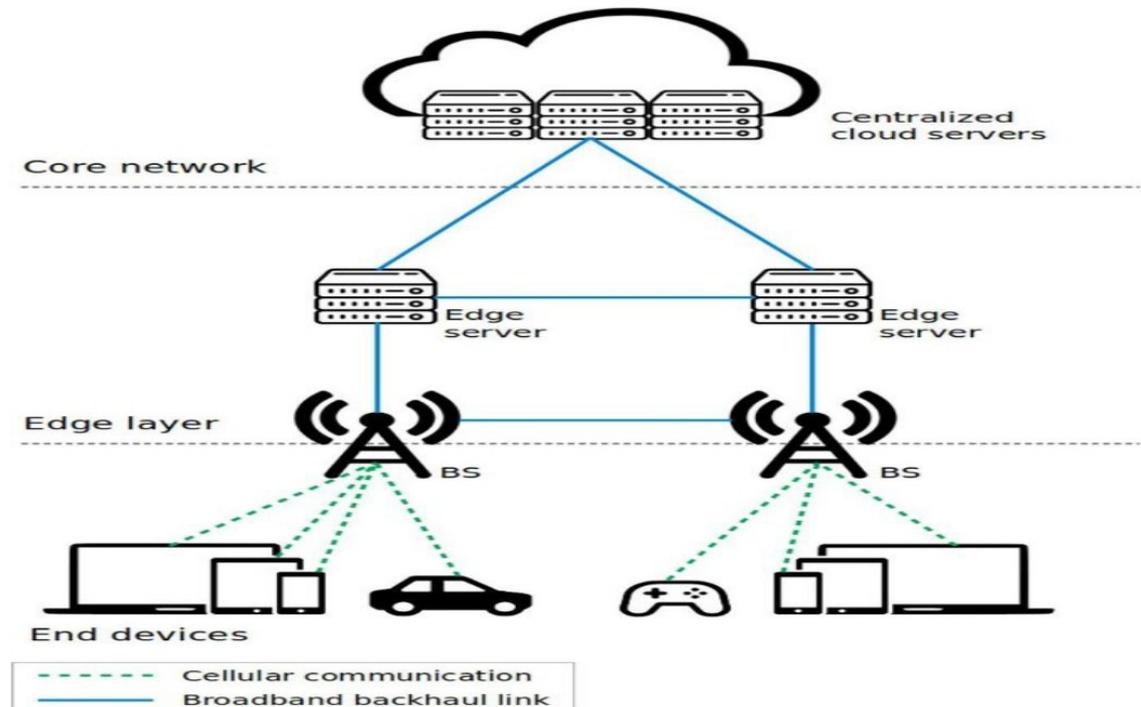


Figura 4.1: Arquitetura MEC (Brehon–Grataloup et al., 2022).

Dentro do contexto de uma rede veicular em áreas rurais, essa arquitetura MEC poderia ser a solução para os diversos problemas encontrados nesses locais e já citados neste trabalho. Diferentemente da *FOG Computing*, que utiliza recursos da unidade de bordo (OBU) de outros veículos da rede e da Cloud, o que demandaria uma rede veicular com uma grande densidade, já que existe essa dependência de recursos de outros veículos, e levando-se em conta que os recursos computacionais da unidade de bordo (OBU) são limitados, volta e meia seria necessário buscar tais recursos na nuvem, e isso significaria um grande aumento na latência. Já numa rede veicular rural implementada com essa arquitetura MEC, normalmente não existiria a possibilidade de um grande tráfego de veículos, e isso nem seria necessário, já que a MEC pode extrair recursos exclusivamente dos servidores de borda/cloudlets, sem depender de outros veículos. Esse suporte dos cloudlets funcionam como um meio termo entre os recursos dos dispositivos finais (rápidos, mas são limitados), e o suporte dos servidores em nuvem (ilimitados, só que são lentos).

Os desafios para resolver os problemas relacionados à conexão instável e até mesmo a inexistência de conexão à internet em áreas remotas, ainda são enormes, no entanto, vários estudos, experimentos e pesquisas estão sendo realizados mundo afora. A rede 5G possui uma gama de benefícios capazes de resolver ou pelo menos mitigar os principais problemas encontrados nas áreas rurais, no que diz respeito às redes móveis. Alguns desses benefícios são: latência reduzida, alta densidade de conexão, altas taxas de transferência, eficiência espectral aprimorada, conectividade contínua, ampla cobertura, maior eficiência energética da rede, dentre outros.

Tang et al. (2021) destaca que a rede 5G não tem uma grande capacidade de cobertura, e o motivo são as ondas milimétricas (micro-ondas ou MWs) que fazem parte do espectro usado pelo 5G. Uma tecnologia promissora que pode disponibilizar uma melhor cobertura e uma conectividade que beira à perfeição são os Small Cells, que se tratam de pequenas Estações Bases instaladas a uma distância de 250 metros umas das outras e podem ainda ser estendidas. Alguns dos locais onde essas pequenas torres podem ser colocadas são os postes de iluminação, capotas de veículos, telhados, árvores, etc.

Apesar do considerável aumento de velocidade e largura de banda trazidos pelo 5G, a limitação da cobertura exigirá uma infraestrutura complementar. A instalação de pequenas Estações Bases adicionais se torna necessária, sobretudo devido ao pouco alcance da estação base 5G, que por sinal tem um menor alcance que a geração atual. Pela flexibilidade de poderem ser instaladas/colocadas em qualquer lugar, as pequenas Estações Base (Small Cells), tem um custo ínfimo, sendo também o envio dos dados, realizado utilizando menos energia, ao mesmo tempo em que trata os dados maiores (Tang et al., 2021).

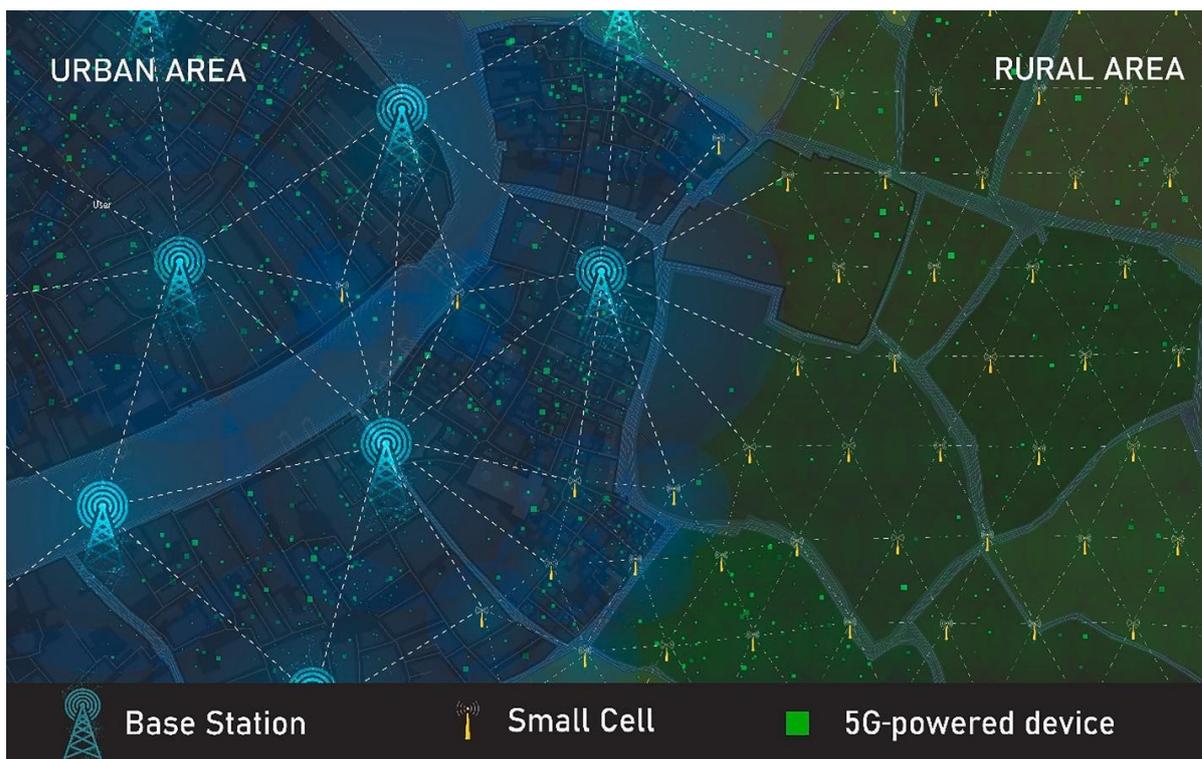


Figura 4.2: Rede com BS, Small Cell e 5G em áreas urbanas e rurais (Tang et al., 2021).

A infraestrutura de rede móvel 5G proposta por (Tang et al., 2021), demonstra de forma clara, o funcionamento de uma rede 5G situada em áreas urbanas e rurais, utilizando Base Stations e Small-Cells. Uma rede desse tipo poderia trazer a solução para a baixa cobertura da rede móvel, conexão instável, baixa vazão e alta latência, comumente encontradas nas áreas rurais e remotas.

Desta forma, a arquitetura MEC projetada pelo ETSI (grupo de pesquisa que supervisiona o MEC), associada à infraestrutura de rede 5G proposta por (Tang et al., 2021), seriam as duas estruturas que juntas poderiam solucionar ou ao menos diminuir os gargalos encontrados nas áreas rurais e remotas, quando se trata de cobertura, conectividade, latência e vazão da rede móvel. Esse indicativo foi de suma importância para este trabalho, já que o tipo de comunicação entre veículos que foi abordado aqui, necessita de uma infraestrutura já pronta e habilitada para a rede móvel 5G.

Apesar dos grandes desafios pela frente, as pesquisas indicaram alguns caminhos promissores, que talvez se tornem soluções definitivas para dirimir ou pelo menos mitigar os grandes obstáculos encontrados nas áreas rurais e localidades remotas. Uma boa indicação e inclusive encontrada em vários trabalhos, seria a associação da computação de borda com a rede 5G, que poderia resolver os problemas de alta latência e baixa vazão, que são fatores impeditivos para que o funcionamento de uma IoV seja possível.

A arquitetura MEC em três camadas, proveniente das pesquisas e mencionada neste trabalho, sugere uma boa alternativa para tornar possível a implementação da IoV de forma eficaz nesses ambientes rurais. A ideia de um cloudlet/servidor de borda realizando o papel da nuvem, só que próximo à borda da rede, e com a diferença de um enorme poder computacional quando comparado a um computador de borda, otimizaria muito operações de envio e recebimento de dados de uma ponta à outra, principalmente em ocasiões que necessitem da realização da computação no servidor na nuvem.

4.1.5 Conclusões da RSL

Durante a pesquisa, foram indicadas algumas possíveis respostas e soluções para as questões abordadas nesse trabalho. Foram citadas e discutidas as consideradas mais importantes e podemos citar: Técnicas como o fatiamento de rede com multilocalização para viabilizar a instalação da infraestrutura e disponibilização da rede móvel 5G para os usuários finais de áreas rurais; O uso dos UAVs como uma promissora solução para a cobertura da rede 5G móvel em regiões remotas e inclusive em locais com grande aglomerado de pessoas; A utilização da computação de borda com um cache de borda para diminuir a latência da rede; O uso de Small Cells associados à computação de borda, com o objetivo de melhorar a disponibilidade e capacidade da rede, além de reduzir a latência.

É importante salientar, que diante dos trabalhos estudados, foi demonstrado que não existe a possibilidade de se solucionar problemas relacionados à cobertura, conexão, vazão e latência, dentro do contexto rural, sem que se tenham duas ou mais tecnologias associadas, e a exemplo disso, temos como principais: A 5G Network, a Edge Computing, as Base Stations, os Small Cells e os UAVs. Além disso, devido às condições encontradas nas áreas rurais, são necessários incentivos, investimentos e apoios governamentais para que se torne possível a existência de redes com ampla cobertura, conectividade estável, alta vazão e baixa latência.

5

Simulador

5.1 CARLA

A escolha da cidade ou mapa, foi um fator de suma importância para a consecução deste trabalho, sobretudo porque a ideia foi de realizar as simulações em rodovias e não em áreas com grande tráfego urbano. Fora isso, a escolha de um determinado trecho dentro de uma cidade, também mereceu atenção, e isso porque foram priorizados trechos afastados da área urbana, e com longas retas, para que os veículos pudessem alcançar uma velocidade maior.

Como já foi citado, o controle climático é um outro importante recurso do CARLA, e também foi imprescindível para este trabalho, levando em consideração, que era importante realizar as simulações em diferentes situações climáticas, desde as mais favoráveis, como dias claros, com ausência de chuva ou neblina, até as mais adversas, como dias chuvosos, noites nebulosas, dentre outras. A importância de ter esses diferentes cenários, se deu, tão somente, para demonstrar com mais veemência, o quão significativo é o objeto de estudo do trabalho, que é prevenir acidentes.

A versão atual do CARLA possui um catálogo com dez mapas, com uma boa diversidade de ambientes, que vão desde uma pequena cidade com rio e pontes, até um grande mapa com diversas regiões diferentes, incluindo arranha-céus, ambientes residenciais e rurais.

A figura 5.1 mostra o exemplo de uma pequena cidade do CARLA, situada numa área rural. A cidade 7 imita uma comunidade rural tranquila, uma paisagem verde repleta de campos de milho, celeiros, silos de grãos e moinhos de vento. Os edifícios incluem celeiros de madeira e edifícios agrícolas.



Figura 5.1: Cidade 07 do CARLA. Fonte: carla.org

A figura 5.2 exibe o mapa rodoviário da mesma cidade e pode ser observado que sua rede rodoviária é pequena e contém um conjunto simples de cruzamentos e estradas não sinalizadas, com algumas ruas de estacionamento residenciais. Existe ainda um pequeno corpo de água atravessado por uma curta ponte rodoviária, e por fim, algumas estradas são ladeadas por campos de milho.



Figura 5.2: Rede rodoviária da cidade 07 do CARLA. Fonte: carla.org

A figura 5.3 ilustra a cidade 12, que possui um extenso sistema rodoviário com 10x10 km².



Figura 5.3: Cidade 12 do CARLA. Fonte: carla.org

A cidade 12 tem um extenso sistema rodoviário, incluindo rodovias de 3 a 4 faixas intercaladas com impressionantes cruzamentos e rotatórias. O layout da estrada é parcialmente inspirado no layout da estrada da cidade de Amarillo, no Texas, EUA. Existem inúmeras regiões contrastantes para a cidade, incluindo áreas urbanas, residenciais e rurais, juntamente com um grande sistema de rodovias ao redor da cidade, e com um anel viário que pode ser visto na figura 5.4. O estilo arquitetônico reflete aqueles de muitas cidades médias e grandes na América do Norte.



Figura 5.4: Cidade 12 do CARLA. Fonte: carla.org

A figura 5.5 mostra o mapa da cidade 12, que é interativo e assim sendo, pode ser usado para navegar pela cidade e derivar coordenadas para usar no simulador CARLA.



Figura 5.5: Rede rodoviária da cidade 12 do CARLA. Fonte: carla.org

Ainda com relação às cidades, elas dispõem de seus mapas rodoviários, de modo que através da topologia do mapa, é possível obter pontos de referência de toda a rede rodoviária. No ambiente do CARLA, topologia são pares de pontos de referência (waypoints), que possuem o formato de tuplas, e que são blocos de construção essenciais da rede rodoviária, e definem todas as estradas. A obtenção dessas informações é importante, porque através delas, é possível saber exatamente o local de um determinado elemento, e com isso, gerar veículos numa localização exata do mapa, e além disso, posicionar a câmera do espectador também para o mesmo local.

Para poder realizar esse deslocamento de um canto a outro do mapa, é necessário primeiro realizar uma transformação, ao executar o elemento da tupla, para que ele seja transformado num ponto de referência, contendo x , y , z , e rotação. Não menos importante, é descobrir o tamanho da rede rodoviária, ou seja, saber quantos pares de pontos de referência existem,

tendo em mente, que cada um dos pares, define o início e fim de cada faixa ou elemento da rodovia, porque qualquer ponto nessa estrada, será representado por waypoint, possibilitando com isso, navegar de um local para outro, saltando literalmente de um para outro. O mapa da cidade 12 exibido na figura 5.5, é o único disponibilizado pelo CARLA, que possui interatividade, ou seja, é possível navegar com facilidade pela cidade utilizando do mouse, para se mover para cima e para baixo, para o lado esquerdo e direito, e aumentar ou diminuir o zoom. Fora isso, ele possibilita que se registre e encontre as coordenadas de um determinado ponto da cidade, apenas clicando duas vezes no local, e os valores de x, y, z, e rotação, serão exibidos num bloco de código abaixo do mapa. Isso facilita um pouco as coisas, já que com apenas um clique e de forma visual, obtém-se a localização exata de um ponto da cidade, mas conforme observado, essa opção está restrita apenas ao mapa da cidade 12.

Essas coordenadas de x, y, z e rotação, nada mais são, do que o GPS do simulador, e a partir do momento que essas informações são obtidas, se torna exequível por exemplo, a alocação de um ou mais veículos num determinado ponto do mapa. Os veículos são os elementos mais importantes no CARLA, e para que um veículo ingresse e apareça de fato no simulador, é preciso primeiramente gerá-lo e localizar um modelo disponível na biblioteca do CARLA, e para isso, utilizamos um objeto chamado "Blueprint", e ele é usado basicamente para escolher veículos e câmeras.

Após a escolha do veículo, será necessário escolher um local no mapa para que ele seja gerado, e dentro das possibilidades, estão a escolha de um lugar aleatório ou de um local exato, utilizando as coordenadas. Também é importante mover a visualização do simulador para o veículo, ou seja, o que será a visualização de espectador, e para este fim, também serão necessárias as coordenadas. Por último, e não menos importante, é a configuração da câmera de dentro do veículo, e isso é fundamental, quando por exemplo for imprescindível a visualização em tempo real da velocidade e de outros parâmetros, além da clareza que esse recurso proporciona, para se observar as ações do veículo.

5.1.1 Configuração e Requisitos de Hardware

Um dos principais desafios para se trabalhar com o CARLA, são os requisitos de hardware, tendo em vista que se trata de uma configuração robusta e que não é encontrada em computadores mais simples. Uma coisa importante, é que é possível instalar o CARLA em sistemas operacionais Linux ou Windows, mas para este trabalho foi escolhido o Windows 11. Sobre os requisitos de hardware, para começo de conversa, é necessária uma GPU (Unidade de Processamento Gráfico) dedicada, e com pelo menos 6 GB de memória RAM dedicada, sendo que a recomendação é que se tenham 8 GB.

Para as simulações realizadas neste trabalho, foi utilizado um computador com as configurações de hardware a seguir: Processador 11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H com 2.30 GHz; 32 GB de memória RAM; SSD de 480 GB; GPU NVIDIA GeForce RTX 3070 com 8 GB de memória RAM dedicada. É essencial que se diga, que não necessariamente as simulações só irão executar com uma configuração igual ou superior a que foi empregada aqui, mas com essa configuração nas simulações e testes, todas elas se deram de forma fluida.

6

Resultados das Simulações

6.1 Simulações

Levando-se em consideração que o foco principal do trabalho foi a prevenção de acidentes através da comunicação veicular, para todas as simulações realizadas, foi considerada a comunicação V2V, ou seja, de veículo para veículo, por ser o tipo de comunicação que mais se adequou ao objetivo do trabalho, mas o simulador possui capacidade de realizar todas as outras comunicações veiculares que foram apresentadas. Uma das restrições encontradas no simulador, foi a incapacidade de exibir durante as simulações, uma mensagem de texto de uma forma que ficasse subentendido que tal mensagem havia sido enviada de um veículo para outro, mas isso, de forma alguma impossibilitou que a comunicação entre os veículos ocorresse.

Como forma de validar o trabalho, foi considerada a hipótese de que um veículo tem a capacidade de receber uma mensagem com a velocidade de um outro veículo transitando na mesma rodovia. Um algoritmo foi utilizado tanto para a comunicação veicular, quanto para a tomada de decisão, e seu funcionamento se dá da seguinte forma: Um veículo "A", recebe uma mensagem com o valor da velocidade do veículo "B", e a partir desse momento ocorre uma tomada de decisão, da seguinte forma: na primeira situação, caso o veículo "B", esteja com velocidade menor que 10 km/hora, o veículo "A" irá frear e reduzir sua aceleração para zero; Na segunda situação, caso o veículo "B", esteja com velocidade maior que 10 km/hora, o veículo "A" prosseguirá seu trajeto normalmente.

Partindo dessa lógica, é importante observar que da mesma forma que ocorre no mundo real, numa situação de perigo de acidente, onde o motorista precisa frear o veículo, e não basta apenas pressionar o freio, mas também tirar o pé do acelerador, ocorre também de forma semelhante dentro do simulador, de modo que é necessário frear o veículo e também reduzir sua aceleração para zero, ou seja, tirar o pé do acelerador.

No caso da velocidade do veículo "B" ter que ser menor que 10, ou seja, 10 km/hora, isso se deu dessa maneira, justamente por conta da aceleração dos veículos envolvidos nas simulações de acidentes, que em algumas vezes, por estarem num local com algum declive, ou simplesmente por conta de um bug do simulador, eles não paravam totalmente, ficando em determinadas situações, com um pouco de aceleração, mesmo o veículo estando aparentemente parado.

Como foi possível observar no algoritmo supramencionado, é preciso salientar que em todas as simulações, um veículo "A", recebeu os valores de velocidade de veículos "B", "C", "D", etc., a depender da quantidade de veículos envolvidos no acidente. Apesar do algoritmo demonstrar apenas a comunicação da velocidade entre um veículo "A" e um veículo "B", isso não se limita apenas a dois veículos e também não é uma comunicação unilateral, ela ocorre de lado a lado, da mesma forma que ocorre na comunicação V2V.

Um outro ponto interessante, foi é que em todas as simulações respeitou-se a dinâmica que ocorre nos acidentes do mundo real, melhor dizendo, não se criou um cenário de acidente exatamente igual a outro, como uma espécie de réplica, para realizar as simulações, mesmo sendo as duas no mesmo cenário. Isso quer dizer, que apesar de termos duas simulações rodando em cenários e condições iguais, a dinâmica dos acidentes provocados, seguiu o padrão de ocorrer sempre no mesmo local, com os mesmos veículos, mas as posições finais dos veículos envolvidos, poderiam diferir entre uma simulação e outra.

Isso reduziu ou removeu qualquer risco de viés, já que poderia se imaginar que dentro de condições totalmente controladas e no caso deste trabalho, acidentes totalmente iguais, com os veículos sempre parando da mesma forma e exatamente no mesmo local, seria plausível obter exatamente os mesmos resultados. Ao contrário disso, os acidentes ocorridos nas simulações, emularam acidentes reais, no sentido de que quando dois ou três veículos colidiram, nunca, ou quase nunca o resultado de suas posições na pista, foi igual.

Dito isto, nas simulações, a partir do instante em que ocorre um acidente, entra em ação o veículo a ser testado, que no algoritmo foi nominado como veículo "A", e logo após a colisão, esse veículo inicia uma aceleração na pista, em direção ao acidente, e depois recebe os valores das velocidades dos veículos envolvidos no acidente. No caso das simulações com ausência do algoritmo, ocorre da mesma forma, isto é, logo que o acidente acontece, o veículo inicia sua aceleração indo no sentido do local do acidente.

Um fato de extrema importância, é que tanto nas simulações com o algoritmo, quanto nas sem ele, a localização do ponto de partida dos veículos testados no momento da aceleração, foi a mesma, e isso demonstra o quão essencial foi a utilização do GPS do CARLA, em outras palavras, foi imprescindível entender o funcionamento das coordenadas dos mapas, para que se pudesse determinar um ponto de partida exatamente igual para os dois tipos de simulação, ou seja, com e sem o algoritmo.

Ainda sobre GPS, coordenadas, e os já citados waypoints e mapeamento da rede viária do CARLA, todos os acidentes ocorridos nas simulações antes da partida dos veículos testados, foram provocados, isto significa, que foi preciso definir o mesmo ponto de referência ou waypoint, para a geração dos veículos na pista. Isso acaba provocando uma colisão entre eles, e sua intensidade se dá principalmente aos parâmetros utilizados na coordenada z, já que através dessa coordenada é possível soltar o veículo de uma determinada altura, no momento em que ele é gerado. Vale salientar que apesar da forma de se gerar uma colisão inicial, o resultado é semelhante a qualquer acidente do mundo real, onde termina com veículos parados na pista, como pode ser observado na figura 6.1.

Para melhorar o entendimento, deve-se notar que com relação às coordenadas dos pontos de referência, o posicionamento de um carro é composto por dois elementos de localização, onde o 1º é representado pelas coordenadas x, y e z, e isso o torna um elemento 3D, pois não é apenas horizontal (x e y) que são respectivamente frente e lateral, mas também pode ser vertical (z), que é a distância ou altura do veículo com relação ao solo no momento em que é gerado. O 2º elemento é o Rotation e é composto por 3 coordenadas (pitch, yaw, roll), e é possível usar os três eixos em 3D, de forma que você pode girar em torno de qualquer eixo (inclinação, guinada e rotação), sendo o pitch/inclinação= horizontal, yaw/guinada=vertical, roll/rotação=giro esquerda ou direita.



Figura 6.1: Exemplo de acidente provocado. Fonte: simulação própria

Uma outra questão primordial, foi o tempo decorrido posteriormente às colisões, até que a aceleração dos veículos testados iniciasse, e esse tempo foi de cinco segundos, de modo que tão logo os acidentes ocorrem, o comando de aceleração era executado após os cinco segundos. Não menos importante, foi o disparo do algoritmo, que de igual modo, era executado após cinco segundos do início da aceleração, e isso foi importante, para que os veículos pudessem alcançar uma determinada velocidade até estarem próximos do acidente.

Apesar de bastante óbvio, mas não se pode deixar de citar, que nas simulações sem a utilização do algoritmo, quer dizer, utilizando o piloto automático do CARLA, não teria como haver alguma interferência na condução do veículo, tendo em vista que a própria natureza da implementação do piloto automático no CARLA, não permite tal intervenção, até porque se isso fosse possível tiraria todo o sentido de seu uso, levando-se em conta as tomadas de decisão inerentes ao mesmo.

No caso do trabalho em questão, o piloto automático representa os motoristas humanos, que trafegam diariamente nas rodovias do Brasil e mundo afora, e que não dispõem de um sistema ou dispositivo que os alertem de forma antecipada e adequada, da existência de acidentes ocorridos na pista à frente de onde trafegam, para que consigam frear ou reduzir sua velocidade a tempo de não se envolver ou provocar um novo acidente. O piloto automático busca de certa forma imitar o comportamento humano, mas diferente deste último, ele não consegue burlar as regras de direção predefinidas, e com isso, tem o intuito de se tornar mais seguro nas conduções dos veículos, que os próprios humanos.

Uma dessas regras predefinidas de condução para o piloto automático e que existe no CARLA, é o limite de velocidade, que por padrão vai no máximo até 88 km por hora. Para as simulações onde os cenários utilizados foi uma reta, esse limite de velocidade foi alterado, para que as simulações se tornassem mais verossímeis, mas isso não foi necessário para os cenários de simulação onde os acidentes ocorriam numa curva, tendo em vista que de forma geral, a tendência é que no mundo real, se reduza a velocidade nas entradas de curva, e nessas simulações, os veículos atingiram no máximo os 88 km/hora até chegar no local das colisões.

Nas simulações onde os veículos testados foram conduzidos pelo piloto automático, além da opção de frear, ele utilizava também a escolha de desviar dos veículos colididos parados na pista. No entanto, esse desvio ou tentativa de realizar o mesmo, acaba abrindo a possibilidade de uma colisão com os veículos parados na pista. No caso das simulações com o algoritmo, optou-se por servir-se apenas da opção do freio, levando-se em consideração o risco supracitado, do veículo se envolver num novo acidente, tendo sido nesse caso, apenas o recurso do freio como a opção escolhida para compor o algoritmo.

Para efeito de validação do trabalho, foram realizadas dez simulações de cada tipo, melhor dizendo, sem o algoritmo e com o algoritmo, e em quatro cenários diferentes, totalizando oitenta simulações. Os diferentes cenários foram necessários para poder observar diferentes situações e com graus de riscos distintos do ponto de vista da chance de se evitar colisões, como se pode observar no tópico a seguir.

6.2 Cenários Simulados

Todas as simulações foram realizadas na cidade 04, utilizando quatro cenários diferentes, a saber, Cenário 1: simulação com acidente numa curva, de dia e com tempo limpo e com velocidade de até 88 km/hora; Cenário 2: simulação com acidente numa curva, de noite, com chuva e neblina e com velocidade de até 88 km/hora; Cenário 3: simulação com acidente numa reta, de dia e com tempo limpo e com velocidade até de 120 km/hora; Cenário 4: simulação com acidente numa reta, de noite, com chuva e neblina e com velocidade de até 120 km/hora.

Um ponto de suma importância no que diz respeito ao clima e visibilidade dos cenários simulados, é que nos casos dos cenários 2 e 4, eles se deram em períodos noturnos, com chuva forte, poças de água na pista e densa neblina, e isso teve impacto nos resultados das simulações. Conforme foi citado neste trabalho, por dispor de uma física hiper-realista, os veículos do CARLA dispõem de componentes que emulam a física de veículos com rodas, e desse modo eles possuem controle sobre cada roda, taxa de amortecimento, atrito, ângulo e raio da roda, torque máximo do freio e freio de mão, etc.

Isso foi bastante perceptível nas simulações realizadas utilizando os cenários 2 e 4, onde foi notada uma dificuldade maior do piloto automático para conseguir desviar dos carros colididos parados na pista, sendo que em algumas vezes ele acabou colidindo com eles. No caso das simulações utilizando o algoritmo, também notou-se uma demora maior na frenagem dos veículos, tendo havido um tempo maior de desaceleração e em alguns casos, não tendo sido possível evitar o acidente.

6.3 Resultados Obtidos

Conforme já foi dito, as simulações foram feitas em quatro cenários diferentes, sendo que para cada tipo de simulação, com ou sem o algoritmo, foram realizadas dez simulações. Foram considerados três resultados possíveis, a saber, o número total de acidentes, quantas vezes o veículo conseguiu frear, e quantas vezes o veículo conseguiu desviar dos carros parados na pista.

No primeiro cenário, as simulações foram realizadas a partir de um acidente envolvendo quatro veículos numa curva, elas ocorreram durante o dia, com o tempo limpo, e com velocidade de até 88 km por hora. Nas 10 simulações realizadas sem o algoritmo (piloto automático), ocorreu 1 acidente, 6 vezes o veículo conseguiu frear, e 3 vezes o veículo conseguiu desviar dos veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão. Um fato importante, foi que das 3 vezes em que o veículo conseguiu desviar, em duas delas ele quase colidiu com os veículos parados.

Nas 10 simulações realizadas utilizando o algoritmo, não ocorreu nenhum acidente, tendo o veículo conseguido frear nas 10 simulações, evitando colidir com os veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão.

Tipo de Simulação	Total de Acidentes	Conseguiu Frear	Conseguiu Desviar
Sem Algoritmo	1	6	3
Com Algoritmo	0	10	-

Tabela 6.1: Simulações no Cenário 1



Figura 6.2: Simulação no Cenário 1. Fonte: simulação própria

No segundo cenário, as simulações foram realizadas a partir de um acidente envolvendo quatro veículos numa curva, elas ocorreram durante a noite, com chuva e neblina, e com velocidade de até 88 km por hora. Nas 10 simulações realizadas sem o algoritmo (piloto automático), ocorreram 7 acidentes, 2 vezes o veículo conseguiu frear, e 1 vez o veículo conseguiu desviar dos veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão. Um fato importante, foi que na simulação em que o veículo conseguiu desviar, ele quase colidiu com os veículos parados. Nas 10 simulações realizadas utilizando o algoritmo, ocorreram 2 acidentes, e em 2 vezes o veículo conseguiu frear, evitando colidir com os veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão.

Tipo de Simulação	Total de Acidentes	Conseguiu Frear	Conseguiu Desviar
Sem Algoritmo	7	2	1
Com Algoritmo	2	8	-

Tabela 6.2: Simulações no Cenário 2

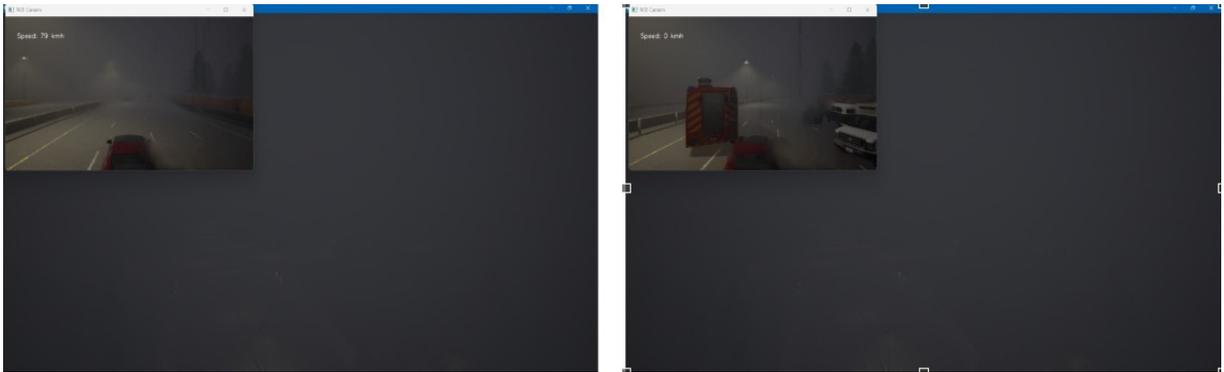


Figura 6.3: Simulação no Cenário 2. Fonte: simulação própria

No terceiro cenário, as simulações foram realizadas a partir de um acidente envolvendo três veículos numa reta, elas ocorreram durante o dia, com o tempo limpo, e com velocidade de até 120 km por hora. Nas 10 simulações realizadas sem o algoritmo (piloto automático), ocorreram 2 acidentes, 3 vezes o veículo conseguiu frear, e 5 vezes o veículo conseguiu desviar dos veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão. Nas 10 simulações realizadas utilizando o algoritmo, não ocorreu nenhum acidente, tendo o veículo conseguido frear nas 10 simulações, evitando colidir com os veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão.

Tipo de Simulação	Total de Acidentes	Conseguiu Frear	Conseguiu Desviar
Sem Algoritmo	2	3	5
Com Algoritmo	0	10	-

Tabela 6.3: Simulações no Cenário 3



Figura 6.4: Simulação no Cenário 3. Fonte: simulação própria

No quarto cenário, as simulações foram realizadas a partir de um acidente envolvendo três veículos numa reta, elas ocorreram durante a noite, com chuva e neblina, e com velocidade de até 120 km por hora. Nas 10 simulações realizadas sem o algoritmo (piloto automático), ocorreram 6 acidentes, e 4 vezes o veículo conseguiu desviar dos veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão. Um fato importante, foi que nas 4 simulações em que o veículo conseguiu desviar, ele quase colidiu com os veículos parados. Nas 10 simulações realizadas utilizando o algoritmo, ocorreram 2 acidentes, tendo o veículo conseguido frear em 8 simulações, evitando colidir com os veículos parados na pista e envolvidos na primeira colisão.

Tipo de Simulação	Total de Acidentes	Conseguiu Frear	Conseguiu Desviar
Sem Algoritmo	6	-	4
Com Algoritmo	2	8	-

Tabela 6.4: Simulações no Cenário 4

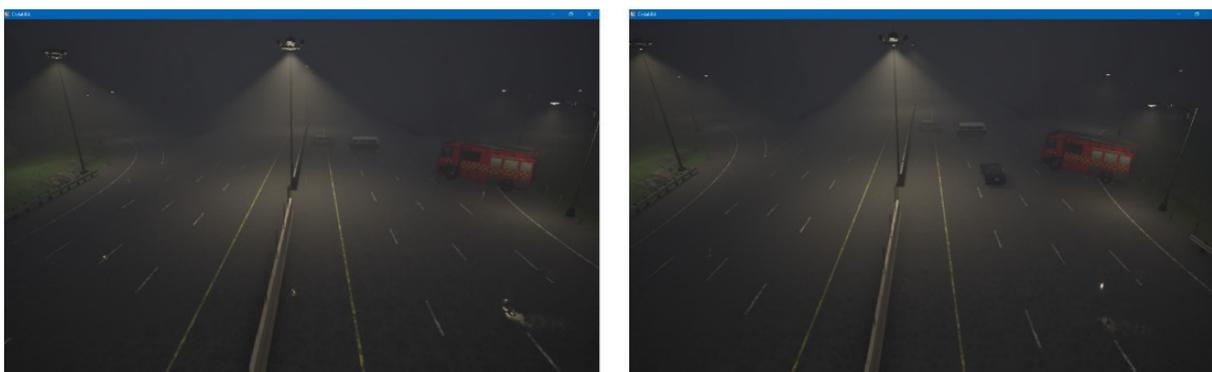


Figura 6.5: Simulação no Cenário 4. Fonte: simulação própria

Como pôde-se observar, foram realizadas 80 simulações ao todo, todas na cidade 04, e utilizando 4 cenários diferentes. Em cada cenário foram feitas 10 simulações de cada tipo, ou seja, com e sem o algoritmo, obtendo um total de 20 simulações para cada um dos cenários.

De um total de 40 simulações realizadas sem a utilização do algoritmo, ocorreram 16 acidentes, ou seja, houve acidentes em 40% das simulações, tendo sido evitado acidentes em 60% das simulações. No caso das 40 simulações realizadas utilizando o algoritmo, ocorreu um total de 4 acidentes, isto significa que houve acidentes em 10% das simulações, tendo sido evitado acidentes em 90% das simulações.

Os resultados das simulações indicaram que a utilização do algoritmo, mostrou-se bastante eficaz quando comparada com as simulações realizadas sem seu uso, sobretudo por conta da grande diferença de acidentes ocorridos sem o algoritmo, que chegou a ser quatro vezes mais do que com seu uso. A eficiência das freadas usando o algoritmo também foi observada, e para se ter uma ideia, das 40 simulações, em 36 delas o veículo conseguiu frear com segurança, contra apenas 11 vezes em que o veículo conseguiu frear no caso das simulações sem a utilização do algoritmo, que além de frear, utilizou o recurso de desviar dos veículos parados na pista, o que ocorreu em 13 das 40 simulações.

7

Conclusão

7.1 Considerações Finais

Através desse trabalho, foi possível identificar os principais gargalos tecnológicos existentes nas áreas rurais e remotas, independente do país em que se esteja, tendo em vista que nessas regiões costuma-se ter um atraso considerável quando comparado com as áreas urbanas, principalmente no que diz respeito à infraestrutura de rede, que é a base fundamental para que se tenha o mínimo de conectividade.

E em se tratando de ausência de conectividade, instabilidade da rede, problemas relacionados à conexão, baixa vazão e alta latência, as pesquisas demonstraram que o uso de certas tecnologias associadas, são capazes de resolver ou ao menos mitigar esses problemas. As pesquisas sugeriram como possível solução para esse problemas, duas tecnologias principais, que são a computação de borda, associada à rede 5G, que inclusive, tais tecnologias dão base para a existência da IoV, bem como, seu objetivo fundamental, que é realizar a comunicação V2X.

A computação de borda tem a capacidade de aproximar os aplicativos das fontes dos dados, ou seja, do local em que os dados são gerados, realizando toda computação, processamento e armazenamento, nos dispositivos de IoT, IoV e processadores de borda. A rede 5G por sua vez, é provida de recursos capazes de conectar até 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado, mesmo estando estes em velocidades altíssimas (cerca de 500 km/h), e proporcionando além disso, uma latência diminuta, equivalente a 1ms.

Levando-se em consideração as pesquisas realizadas, e os resultados obtidos nas simulações, conclui-se que o trabalho alcançou seu objetivo principal, que foi o de demonstrar a capacidade de prevenir acidentes a partir de uma comunicação veicular, partindo do pressuposto da existência de uma infraestrutura de rede numa rodovia. O recebimento das mensagens de alerta sobre excesso ou baixa velocidade recebidas pelo veículo testado nas

simulações, bem como, a decisão de frear realizadas a partir do algoritmo, seriam o equivalente a um motorista do mundo real, trafegando em uma rodovia e recebendo um aviso automático da velocidade de um outro veículo, dando a ele tempo suficiente para frear o veículo. Por fim, é preciso enfatizar que só foi possível chegar até aqui, por conta do ecossistema existente no simulador CARLA, que além de possuir uma infraestrutura de rede preexistente, onde todos os elementos podem se comunicar e interagir entre si, dispõe também de um ambiente virtual completo e realístico, com veículos, cidades, mapas, etc., o que possibilitou a realização das simulações, que foram o objetivo final do trabalho.

7.2 Desafios e Trabalhos Futuros

Por se tratarem de tecnologias emergentes, os estudos realizados neste trabalho, podem servir como ponto de partida para pesquisas e trabalhos maiores, podendo de fato abrir inúmeras possibilidades, sobretudo do ponto de vista das pesquisas acerca da prevenção de acidentes, bem como, do universo das redes veiculares. A utilização do simulador CARLA trás enormes ganhos para a pesquisa, principalmente porque se pode realizar os testes e simulações, sem que se tenha os riscos e custos, para o caso dos mesmos testes serem realizados no mundo real.

As possibilidades de avanços nas pesquisas e simulações com o CARLA são enormes, e isso fica evidenciado, quando se sabe que além do simulador ainda estar em desenvolvimento e recebendo melhorias contínuas, várias ferramentas, frameworks e tecnologias, podem se integrar ao CARLA, a exemplo do OMNeT++, pode-se também trabalhar com tecnologias como aprendizagem de máquina, aprendizagem profunda como por exemplo a segmentação semântica, redes neurais, dentre outras.

Um outro caminho que poderá ser seguido, é o de desenvolvimento do software propriamente dito, melhor dizendo, a construção do sistema a ser instalado nos veículos, a partir de um dispositivo embarcado. Uma opção dentro do contexto desse trabalho, e que possui um escopo bem definido, seria desenvolver um sistema capaz de enviar dados de caminhões de usinas de cana de açúcar, para a nuvem e uma central de monitoramento, com computadores e smartphones, conectados de forma remota à smartphones localizados no interior dos veículos, que por sua vez, se comunicariam com placas, módulos e sensores instalados nos mesmos.

O sistema de diagnóstico de bordo (OBD-II), quando ligado à unidade de controle eletrônico (ECU) do veículo, permite a leitura e transmissão dos mais diversos tipos de dados mecânicos. Isso é realizado por meio da interface OBD que se tornou um padrão nos EUA e Europa na década de 1990, onde foi definido que todos os veículos fabricados a partir de 1996 nesses locais, sairiam de fábrica obrigatoriamente com esse padrão. No Brasil isso se tornou obrigatório para veículos fabricados a partir de 2010, em que foi adotada a utilização

da OBD-II, que é a segunda geração do padrão. Nesse projeto poderá ser utilizado o adaptador OBD-II Bluetooth ELM-327 para coletar os dados dos veículos, além de uma unidade de bordo (OBU), através de um dispositivo embarcado, composto por um Raspberry Pi 4, que será alimentado através da porta USB de 5V do carregador do veículo, e possuirá o sistema operacional Raspberry Pi OS carregado em um MicroSD de 32 GB.

A conexão entre o Raspberry Pi 4 e a OBD-II, deverá ser feita por meio do adaptador OBD- II Bluetooth ELM-327, que após conectado à porta OBD-II (16 pinos) do veículo, utilizará a conexão Bluetooth para se conectar à placa Raspberry Pi. Deverão ser escritos scripts no Raspberry Pi 4, para que o mesmo possa extrair, guardar e enviar os dados através de uma conexão USB, para o smartphone Moto G 5G Plus localizado no interior do veículo. Deverá ser desenvolvido um ou mais programas e scripts que farão a conexão da placa Raspberry Pi 4 com o adaptador ELM-327, realizará requisições e coletas de dados dos sensores, bem como, seu armazenamento no MicroSD e envio para o smartphone. Como um tratamento inicial dos dados, deverá ser criado um banco de dados relacional, com uma tabela que contenha como primeira coluna de identificação uma chave primária, e as demais colunas com os nomes dos sensores correspondentes.

Os dados extraídos do veículo deverão ser inseridos de forma automática na tabela. Esse banco de dados e tabela poderão ser feitos a partir de um SGBD, ou seja, um sistema gerenciador de banco de dados, ou até mesmo, através de uma simples planilha que tenha por exemplo como saída, arquivos .xml, e são esses arquivos que serão transmitidos para o smartphone. O smartphone Moto G 5G Plus, possui o processador Qualcomm® Snapdragon™ 765 Octa- Core com 2.3 GHZ, 128 GB de armazenamento interno, 8 GB de memória RAM, além de ser compatível com a tecnologia 5G, já disponível em vários países e inclusive no Brasil. Tais configurações são suficientes para processar, armazenar e enviar as informações para os outros dispositivos. Ele irá trabalhar como um processador de borda, ou seja, irá processar os dados no local em que são coletados (veículo), através do aplicativo web que será criado utilizando basicamente HTML5, CSS e JavaScript, onde ele irá realizar uma análise, tratamento e filtragem dos dados obtidos e posteriormente, enviará os dados em forma de relatórios, para a central de monitoramento pela rede 5G.

Os dados do veículo coletados pelo Raspberry Pi 4, serão enviados ao smartphone Moto G 5G Plus em formato .sql ou .xml, através de uma conexão USB entre os dois dispositivos, e este último por sua vez, processará os dados na borda da nuvem, ou seja, internamente, e logo em seguida, utilizando a rede 5G transmitirá os dados em forma de relatórios para aos smartphones e computadores da central de monitoramento, além da nuvem, para que os eles possam ser analisados e utilizados para atender as estratégias da empresa.

Referências

A. M. Cavalcante, M. V. Marquezini, L. Mendes AND C. S. Moreno, "5G for Remote Areas: Challenges, Opportunities and Business Modeling for Brazil,"in IEEE Access, vol. 9, pp. 10829-10843, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050742.

Abood, M. S. et al., "Intelligent Network Slicing in V2X Networks – A Comprehensive Review"Journal of Artificial Intelligence and Technology, 2023, 3, 75-84. DOI:10.37965/jait.2023.0208.

Adelantado, F. et al. Internet of Vehicles and Real-Time Optimization Algorithms: Concepts for Vehicle Networking in Smart Cities, 2022.

B. Ji et al., "Survey on the Internet of Vehicles: Network Architectures and Applications,"in IEEE Communications Standards Magazine, vol. 4, no. 1, pp. 34-41, March 2020, DOI: 10.1109/MCOMSTD.001.1900053.

Barradas, Margarida do Carmo Mendes. Comunicação veículo para veículo. 2017. Dissertação de Mestrado. Disponível em:<https://revistaseletronicas.pucrs.br/index.php/revistafamecos/article/view/3032>. Acesso em: 01/10/2024.

Bezerra, Paulo Henrique Gonçalves. Um Protocolo de roteamento colaborativo para transmissão de vídeo com computação em névoa em redes ad hoc veiculares.Orientador: Denis Lima do Rosário. 2019. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11252>. Acesso em: 10/10/2024.

Carlos Gómez-Huélamo et al., "Train Here, Drive There: Simulating Real-World Use Cases with FullyAutonomous Driving Architecture in CARLA Simulator", 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-62579-5-4.

Cislaghi, Valerio et al., "Simulation of Tele-Operated Driving over 5G Using CARLA and OM- NeT++", in IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 2023.

C. Najjuuko, G. K. Ayebare, R. Lukanga, E. Mugume and D. Okello, "A Survey of 5G for Rural Broadband Connectivity,"2021 IST-Africa Conference (IST-Africa), South Africa, South Africa, 2021, pp. 1-10.

Dosovitskiy, Alexey; Ros, German; Codevilla, Felipe; Lopez, Antonio; Koltun, Vladlen. CARLA: An Open Urban Driving Simulator. Proceedings of the 1st Annual Conference on Robot Learning, p. 1-16, 2017.

Gharib, Mohamad; Dias da Silva, Leandro; Ceccarelli, Andrea. A model to discipline autonomy in cyber-physical systems-of-systems and its application. Journal of Software: Evolution and Process, 2021, 33 (9), e2328. <https://doi.org/10.1002/smr.2328>

Hichri, Y., Dahi, S. Fathallah, H. Candidate architectures for emerging IoV: a survey and comparative study. Des Autom Embed Syst 25, 237–263 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10617-021-09249-7>.

Islam, A.; Hossan, M. T.; Jang, Y. M. Convolutional neural network scheme-based optical camera communication system for intelligent Internet of vehicles. International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 14, n. 4, p. 1-19, 2018.

Jararweh, Y. et al. The future of mobile cloud computing: integrating cloudlets and mobile edge computing. In: IEEE. 2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT). [S.l.], 2016.

Liu, Peichen; Peng, Kai; Zhao, Bohai. A Cybertwin-Driven Intelligent Offloading Method for IoV Applications Using DRL in Smart Cities, 2022.

Lucas Brehon–Grataloup, Rahim Kacimi, Andre-Luc Beylot, Mobile edge computing for V2X architectures and applications: A survey, Computer Networks, Volume 206, 2022, 108797, ISSN 1389-1286, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108797>.

Mansano, Marcelo dos Reis. Plataforma IoV utilizando AGL: desenvolvimento e aplicação. 2017. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Sistemas Embarcados Para a Indústria Automotiva) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/19819>. Acesso em: 01/10/2024.

Nkenyereye, Lionel; Nkenyereye, Lewis; Jang, Jong-Wook. Convergence of Software-Defined Vehicular Cloud and 5G Enabling Technologies: A Survey, 2023.

O que é Unreal Engine 5 (UE5)? Disponível em: <https://www.perforce.com/blog/vcs/unreal-engine-5>. Acesso em 02/09/2024.

Referência da API Python. Disponível em: <https://carla.readthedocs.io/en/latest/python-api/carlaweatherparameters>. Acesso em 24/08/2024.

Sahni, Yuvraj; Cao, Jiannong; Yang, Lei; Wang, Shengwei. Distributed resource scheduling in edge computing: Problems, solutions, and opportunities, 2022.

S. K. A. Kumar, R. Stewart, D. Crawford AND S. Chaudhari, "Business model for rural connectivity using multi-tenancy 5G network slicing," 2020 IEEE 17th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET), Charlotte, NC, USA, 2020, pp. 182-188, doi: 10.1109/HONET50430.2020.9322837.

S. Shahapur and S. Dasgupta, "Future Scope for 5G with respect to the Indian Telecommunication Sector and Proposed Solution of Setting Up 5G in Rural Areas using Unmanned Aerial Vehicles," 2019 6th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 2019, pp. 199-204.

Sem autor: Quase metade das mortes nas rodovias federais, até abril, envolveu acidentes com caminhões ou carretas. G1, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2023/06/16/acidentes-em-rodovias-federais-do-brasil-quase-metade-das-mortes-ate-abril-envolveu-caminhoes-ou-carretas.ghtml>. Acesso em: 18/06/2023.

Sem autor: Mais de 60% das rodovias pavimentadas do país têm condições inadequadas. Poder360, 2021. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/mais-de-60-das-rodovias-do-pais-tem-condicoes-inadequadas/>. Acesso em: 18/06/2023.

Sem autor: Caminhão de cana se transforma em "vilão" das rodovias. Folha de São Paulo-Ribeirão, 2010. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ribeirao/ri2811201001.htm>. Acesso em: 18/06/2023.

Sem autor: Perfil dos Caminhoneiros: idade média da frota de caminhões passa dos 15 anos. CNT, 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/idade-media-frota-caminhoes-passa-15-anos-cnt-perfil-caminhoneiros>. Acesso em: 18/06/2023.

Silva, Waldir Acioli. Sistema Embarcado de Diagnóstico Veicular Integrado a Ambientes Inteligentes. 2019. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7512>. Acesso em: 28/09/2024.

Tanenbaum, Andrew; Feamster, Nick; Wetherall, David. Redes de Computadores. 6.ed. São Paulo: Pearson; Porto Alegre: Bookman, 2021.

W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, L. Xu, Edge computing: vision and challenges, IEEE Internet of Things Journal, Volume 3, Issue 5, Pages 637-646, October 2016, Article number 7488250.

Yang, F. et al. A multi-channel cooperative clustering-based MAC protocol for V2V communications. Wireless Communications and Mobile Computing, v. 16, n. 18, p. 3295-3306, 2016.

Yu Tang, Sathian Dananjayan, Chaojun Hou, Qiwei Guo, Shaoming Luo, Yong He, A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 180, 2021, 105895, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105895>.

Yuanda Wang, Haibo Wang, Shigang Chen, and Ye Xia. 2021. A Survey on Mainstream Dimensions of Edge Computing. In 2021 the 5th International Conference on Information System and Data Mining (ICISDM 2021). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 46-54. <https://doi.org/10.1145/3471287.3471295>

Y. Zeng, Y. Huang, Z. Liu, J. Liu and Y. Yang, "Privacy-Preserving Decentralized Edge Caching in 5G Networks,"2021 IEEE 14th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), Chicago, IL, USA, 2021, pp. 189-199, doi: 10.1109/CLOUD53861.2021.00032.

Y. Zheng, B. Yang and C. Chen, "Joint Optimization of the Deployment and Resource Allocation of UAVs in Vehicular Edge Computing and Networks,"2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall), Victoria, BC, Canada, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/VTC2020-Fall49728.2020.9348819.

Zheng, L.; Ran, B.; Huang, H. Safety evaluation for driving behaviors under bidirectional looking context. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, v. 21, n. 4, p. 255-270, 2017.

Zoghlami, Chaima; Kacimi, Rahim; Dhaou, Riadh. 5G-enabled V2X communications for vulnerable road users safety applications: a review, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11276-022-03191-7>

Zoghlami, Chaima; Kacimi, Rahim; Dhaou, Riadh. Dynamics of Cooperative and Vulnerable Awareness Messages in V2X Safety Applications, 2022.