

A ATUAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES INTELIGENTES NO TRANSPORTE PÚBLICO VIA ÔNIBUS IMPULSIONADO PELO 5G

uma revisão sistemática

Raniely Martins dos Santos¹

Universidade Federal de Sergipe
raniely.santos@dcomp.ufs.br

Rafael Oliveira Vasconcelos²

Universidade Federal de Sergipe
rafael@dcomp.ufs.br

Resumo

O desafio da mobilidade urbana é uma preocupação que afeta inúmeras cidades globalmente, onde, em 2022, das 15 cidades com maior tempo médio de deslocamento em uma viagem, quatro são brasileiras. A partir desta problemática, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática sobre a aplicação de Sistemas de Transporte Inteligentes (STIs) no transporte público, especialmente em relação aos ônibus, impulsionados pela tecnologia 5G. A condução desta revisão é feita a partir de artigos que respondem em que essas aplicações beneficiam os usuários em relação a confiabilidade de horários dos ônibus, redução de acidentes e segurança dos dados dos usuários. Os resultados identificam um foco substancial na proteção e segurança dos dados que permeiam esses sistemas e esforços direcionados à otimização do fluxo de tráfego urbano com a integração do 5G, aliados a técnicas de inteligência artificial. Assim, essas aplicações não só beneficiam os usuários mas abrem um leque para que prossiga a análise, seja levantado novos questionamentos com o uso das ferramentas de inteligência artificial e seja estudado aplicações que fornecem serviços sob demanda.

Palavras-chave: mobilidade urbana; 5G; ônibus; transportes inteligentes; inteligência artificial; segurança.

THE ROLE OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN PUBLIC TRANSPORT BY BUS DRIVEN BY 5G

a systematic review

Abstract

The challenge of urban mobility is a concern that affects countless cities globally, where, in 2022, of the 15 cities with the longest average travel time in a trip, four are Brazilian. The challenge of urban mobility is a concern that affects countless cities globally. Based on this problem, the objective of this work is to carry out a systematic review on the application of Intelligent Transport Systems (ITSs) in public transport, especially in relation to buses, driven by 5G technology. This review is conducted based on articles that answer that these applications benefit users in relation to the reliability of bus schedules, reduction of accidents and security of user data. The results identify a substantial focus on the protection and security of data that permeates these systems and efforts aimed at optimizing urban traffic flow with the integration of 5G, combined with artificial intelligence techniques. Thus, these applications not only benefit users but open up a range for analysis to continue, new questions to be raised using artificial intelligence tools and applications that provide on-demand services to be studied.

Keywords: urban mobility; 5G; bus; intelligent transportation systems; artificial intelligence; security.

¹ Graduando em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe.

² Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Tiradentes (2010), mestrado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2013) e doutorado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2017). Atualmente é professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e de Departamento de Computação da UFS. Tem experiência na área de Sistemas Distribuídos, com ênfase em Internet das Coisas, Computação em Nuvem/Borda/Névoa e Blockchain.



Esta obra está licenciada sob uma licença

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

P2P & INOVAÇÃO, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 1-20, e-6916, jan./jun. 2024.

EL DESEMPEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES EN EL TRANSPORTE PÚBLICO MEDIANTE AUTOBÚS IMPULSADO POR 5G una revisión sistemática

Resumen

El desafío de la movilidad urbana es una preocupación que afecta a innumerables ciudades a nivel global, donde, en 2022, de las 15 ciudades con mayor tiempo promedio de viaje en un viaje, cuatro son brasileñas. A partir de esta problemática, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión sistemática sobre la aplicación de los Sistemas de Transporte Inteligentes (STIs) en el transporte público, especialmente en lo relacionado con los autobuses, impulsados por la tecnología 5G. Esta revisión se realiza a partir de artículos que responden que estas aplicaciones benefician a los usuarios en relación con la confiabilidad de los horarios de los autobuses, la reducción de accidentes y la seguridad de los datos de los usuarios. Los resultados identifican un enfoque sustancial en la protección y seguridad de los datos que impregnan estos sistemas y esfuerzos dirigidos a optimizar el flujo del tráfico urbano con la integración de 5G, combinado con técnicas de inteligencia artificial. Así, estas aplicaciones no sólo benefician a los usuarios sino que abren un abanico para continuar con el análisis, plantear nuevas preguntas utilizando herramientas de inteligencia artificial y aplicaciones que proporcionen servicios bajo demanda para estudiar.

Palabras claves: movilidad urbana; 5G; autobús; transporte inteligente; inteligencia artificial; seguridad.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Lyons (2018), resolver a crise da mobilidade urbana é um desafio antigo para as autoridades governamentais, especialmente aquelas com recursos limitados e baixos investimentos, o que acarreta grandes prejuízos quando se observa a totalidade do problema. Em 2022, por exemplo, Londres liderou com 156 horas de congestionamento ao longo do ano (INRIX, 2023). No Brasil, conforme a CNDL (2022), os brasileiros perdem, em média, 21 dias por ano presos no trânsito. Ademais, o ônibus permanece como o principal meio de transporte, utilizado por 50% dos usuários em seus deslocamentos diários. Isso evidencia que há um número considerável de pessoas enfrentando essa adversidade.

O constante desenvolvimento das TICs tornou possível selecionar a rota adequada de um transporte público, tempo requerido, e os valores da tarifa em tempo real. Esse avanço promove novas possibilidades com cada vez mais sensores e baixa latência no tempo de resposta. Para alcançar esse objetivo, a implementação da quinta geração de redes móveis (5G) é fundamental, dado seu potencial de aprimorar a experiência do usuário em redes móveis, com capacidade para atender aproximadamente 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado, não se limitando apenas a *smartphones*. Lidar com uma quantidade cada vez maior de dispositivos (Hassan, 2022) é crucial para um ambiente urbano cada vez mais conectado (Kemp, 2023), particularmente para a mobilidade urbana e a grande quantidade de dados que, conforme Kim, Moon e Suh (2015), precisam ser processados e computados em tempo real para os sistemas de transportes inteligentes.

Diante das problemáticas apresentadas, para auxiliar na resolução dos problemas de mobilidade urbana e oferecer ainda mais evidência às pesquisas nesta área, faz-se necessário analisar a literatura de um dos componentes das cidades inteligentes; os sistemas de transportes inteligentes, sobretudo nos transportes públicos, com a contribuição de uma tecnologia de comunicação recém lançada, o 5G, e como eles podem ser benéficos para a sociedade.

Este trabalho faz uma revisão sistemática sobre a atuação dos sistemas de transportes inteligentes no transporte público via ônibus impulsionado pelo 5G. Este trabalho utilizou bases bibliográficas acadêmicas, relacionadas a área de ciências exatas e tecnologia, por meio do Portal de Periódicos CAPES. O objetivo deste trabalho é, a partir de uma revisão sobre STIs por ônibus com o uso do 5G, identificar soluções elaboradas para satisfazer as principais necessidades de seus usuários, como a pontualidade de chegada/saída, com a segurança de seus dados preservados e a segurança dos usuários e demais atores do transporte público. Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos: Verificar como os

Sistemas de Transporte Inteligentes Utilizados em Ônibus (STIOs) por meio do 5G podem resolver o problema da falta de confiabilidade nos horários dos transportes públicos coletivos por ônibus; Analisar como os STIOs com o 5G podem oferecer mais segurança no meio urbano para os usuários de ônibus no transporte público; e Mostrar como os STIOs podem auxiliar na segurança dos dados de usuários com o 5G.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta uma introdução acerca dos assuntos que norteiam este trabalho.

2.1 INTERNET DAS COISAS

Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) está presente nas mais diversas áreas, como Transportes e Logística; Assistência Médica; e Ambiente Inteligente. Em relação às cidades, inclusive, foi popularizado o termo *smart city* ou *smart cities*. Uma definição sucinta de *smart city*: é um local onde serviços e organizações tradicionais são mais eficientes com utilização de soluções digitais que beneficiam os negócios e seus habitantes. Isto é particularmente relevante pois, em 2023, de 8.01 bilhões de pessoas no mundo, 57.2% vivem no meio urbano, 64.4% são usuários de Internet, e a porcentagem de pessoas que vivem no meio urbano e estão on-line chega a 78.3% (Kemp, 2023). Além disso, em 2022 o número de dispositivos IoT conectados chegou a 14.4 bilhões, um aumento de 18% (Hassan, 2022), e o mercado global de IoT terá crescimento de 19% em 2023, mesmo com as dificuldades globais econômicas (Wegner, 2023).

Entre os setores que aplicam a IoT está a área de transportes, chamada de transporte inteligente, com o objetivo de tornar os transportes mais acessíveis e as viagens mais rápidas. Mapas com realidade aumentada, carros autônomos, *ticket* móvel e contagem de passageiros são algumas tecnologias que já são realidade, e a tendência é que aconteça melhorias contínuas nessa área com o setor de mobilidade e transporte, sobretudo o uso de transporte público conectado, sendo o caso de uso priorizado entre as cidades inteligentes (Wegner, 2020).

A possibilidade de obter diversos dados sobre carros com o uso de sensores IoT e correlacioná-los com outros integrantes do trânsito como outros automóveis, em particular os ônibus, semáforos, radares, pedestres e usuários, em especial os de transporte público, faz da IoT um meio para diagnosticar o sistema de transporte, monitorar informações em tempo real e prover soluções. De acordo com Handte *et al.* (2016), há evidências de que a disponibilização de informações precisas contribui para melhor satisfação dos usuários de transportes públicos,

tendo em vista oferecer uma melhor experiência do usuário de modo que, de seu ponto de partida até a chegada, o descolamento seja eficaz e eficiente.

2.2 5G E IoT

Comparado ao 4G (quarta geração de redes móveis), é esperado que o 5G seja até 100 vezes mais rápido, o que abre um leque de possibilidades para o desenvolvimento de melhores aplicações e qualidade de serviços. A conexão 5G oferece serviços como a banda larga móvel aprimorada, comunicação crítica e comunicação de baixa latência e ultra confiável, e Internet das Coisas Massiva (mIoT) (Sultan, 2022). Tais serviços tornam possíveis as comunicações entre os mais diversos segmentos da IoT: Máquinas para Máquinas (M2M), Dispositivo para Dispositivo (D2D), Dispositivo para Tudo e Internet dos Veículos (IoV). IoV consiste em um sistema de comunicação móvel dinâmico que coleta, processa, e compartilha informação com segurança, permitindo a evolução dos STIs.

- Veículo-para-Veículo: Conhecido também como V2V, são aplicações que fazem comunicação e trocam informações de um veículo com outro veículo;
- Veículo-para-Infraestrutura: Conhecido como V2I, são aplicações que fazem comunicação e trocam informações de um veículo por meio de dispositivos na beira das estradas, chamados de *Roadside Units* (RSU). Estes RSUs são capazes de trocar informações com todos outros tipos de dispositivos e com os pedestres;
- Veículo-para-Pedestre: Conhecido como V2P, são aplicações que fazem comunicação e trocam informações entre veículos e pedestres;
- Veículo-para-Rede: Conhecido como V2N, são aplicações que fazem comunicação e trocam informações entre veículos e servidores de aplicações.

Os quatro tipos de comunicação são representados pelo termo V2X, que significa comunicação de veículo para tudo, ou seja, o veículo conectado com todo o meio urbano em volta. A computação desses dados de IoV é melhor realizada com computação de borda ou *edge computing* (Xu *et al.*, 2021). Deste modo, os dados são processados ainda no dispositivo fonte de dados, em vez de serem enviados para a nuvem para que sejam processados, o que diminui o nível de latência e melhora o desempenho para tarefas em tempo real, algo crítico ao referir-se a veículos e dispositivos IoT relacionados, inclusive para auxílio da implementação do 5G.

A computação de borda e a virtualização são algumas das tecnologias habilitadas pelo 5G. Além dessas, a Rede Definida por *Software - Software Defining Network* (SDN) - e o particionamento da rede merecem destaque (Wijethilaka; Liyanage, 2021). SDN tem a função de controlar o tráfego da rede de forma inteligente por meio de software, desta forma é possível programar a rede da maneira desejada e ter o controle das decisões dos dados da rede de forma centralizada, simplificando assim o gerenciamento.

A virtualização de rede, conhecida como *Network Function Virtualization*, é a utilização de funcionalidades relacionadas à rede de forma virtual, como roteamento para outros dispositivos ou redes, segurança da rede, distribuição de carga do tráfego da rede a fim de não sobrecarregar uma aplicação e otimizar o desempenho da rede. Assim, há economia, maior desempenho e compatibilidade dessas funcionalidades com os dispositivos físicos que compõem a rede.

A tecnologia de computação de borda para o 5G é melhor definida como Computação de Borda de Acesso Múltiplo ou *Multi-access Edge Computing* (MEC), na qual possui finalidade de prover serviço de computação em nuvem, ou seja, armazenamento de arquivos, programas, e redes em servidores acessíveis através da internet. Entretanto, esses benefícios são ofertados próximos do dispositivo que é a fonte dos dados. Assim, o processamento é menos suscetível a congestionamento e o desempenho da rede é melhorado para serviços na qual informações em tempo real são cruciais.

A tecnologia do particionamento da rede é baseada em "dividir" uma rede física em pedaços lógicos de várias redes de internet, em que cada pedaço pode ser configurado para alguma funcionalidade e ajustado de forma dinâmica para satisfazer os requisitos requeridos. Para Wijethilaka e Liyanage (2021), a tecnologia de particionamento da rede melhora a eficiência da utilização dos recursos, a segurança e a privacidade para aplicações IoT.

2.3 MOBILIDADE URBANA E SISTEMAS DE TRANSPORTES INTELIGENTES

O crescimento dos centros urbanos trouxe e continua a oferecer o aumento do número de carros. Segundo a Statista (2023), em 2023 é previsto em média 70,8 milhões de carros vendidos, o que representa uma tendência de crescimento desde 2020, ano posterior ao início da COVID-19 e os seus impactos econômicos, e em nível próximo a 2019 com média de 74,9 milhões. São muitos carros, o que resulta em cada vez menos espaço nas rodovias e mais congestionamentos, por consequência há uma demora maior no trajeto até chegar ao ponto de destino, maior gasto de combustível e aumento da tarifa de transporte público para cobrir essa despesa.

Por esta razão, Lyons (2018) cita que a mobilidade urbana é considerada um dos principais pilares das cidades inteligentes. Diante disso, com o auxílio da tecnologia, boas práticas para melhorar a locomoção pública e o bem estar no meio urbano são fundamentais. STIs são projetados para melhorar a segurança do tráfego nas estradas, a eficiência e conforto dos transportes e contribuir significativamente com conservação de combustível e consequentemente do meio ambiente, por meio da redução de congestionamentos por exemplo,

com uso de tecnologia de comunicação, possibilitando a conexão de pessoas, de infraestrutura ao redor e dos veículos. Dentre os sistemas de transporte inteligente, destacam-se (Kim; Moon; Suh, 2015):

- Veículos autônomos: De acordo com NHTSA (2023), são classificados em até seis níveis, sendo o nível zero onde o veículo possui apenas assistência momentânea ao motorista, até o nível cinco onde a automação é total.
- Redes de veículos: São veículos com capacidade de armazenamento de grande quantidade de dados, processamento e computação destes, juntos estes veículos formam uma rede através de servidores na nuvem (*cloud*), para que haja comunicação, troca de informações entre eles;
- Gerenciador de tráfegos: Dispositivos que coletam dados a fim de identificar congestionamentos e buscam maneiras de minimizá-los com cálculo de rotas alternativas para os veículos;
- Controle de congestionamentos: Aplicações V2I, sistema de informação de tráfego em tempo real, sensores em estradas que tendem a ser muito movimentadas para detectar a entrada de veículos e monitorar, controle integrado de operações à Internet que detecta e toma decisões em cruzamentos ou entradas de acordo com o volume do tráfego, são exemplos deste tipo de STI.

7

3 REVISÃO SISTEMÁTICA

O protocolo seguido para esta revisão sistemática adota as diretrizes de Kitchenham e Charters (2007), recomendado para pesquisas na área de computação.

3.1 PLANEJAMENTO

Foi verificado antes de iniciar esta revisão sistemática se havia outro trabalho com esta mesma temática, com os mesmos objetivos específicos, por meio dos periódicos CAPES e por pesquisa livre no Google. Sistema de transporte inteligente não é um conceito novo, isto posto, foram encontradas revisões sobre o tema. No entanto, nenhuma delas abordava especificamente a relação entre o 5G e os ônibus de transporte público como foco central da análise.

A formulação das questões de pesquisa, mostradas no Quadro 1, tomou como base os três tópicos da fundamentação teórica, que são Internet das Coisas, 5G e mobilidade urbana, especificamente o transporte público, e como eles se correlacionam.

3.2 CONDUÇÃO

Nesta etapa, define-se a estratégia para a busca de artigos primários nas bibliotecas digitais, conhecida como *string* de busca. Ademais, foram utilizadas as bases de dados da *Compendex - Engineering Village*, *IEEE Xplore* e *Scopus* durante o período de 2023.

Quadro 1 – Questões de pesquisa.

Qn	Questão de pesquisa
Q1	Como o 5G em STIOs afeta a confiabilidade em relação aos horários de parada?
Q2	Como os STIOs, apoiado com o 5G, podem diminuir o número de acidentes?
Q3	Como os STIOs podem auxiliar na segurança dos dados dos usuários por meio do 5G?

Fonte: Autor.

A origem da *string* de busca para esta revisão sistemática sustenta-se nos seguintes termos, definidos como categorias: Internet das Coisas, cidades inteligentes, 5G, transportes inteligentes e mobilidade urbana. Após considerar as categorias, foram definidas as *strings* de busca para cada uma delas, usando cada uma delas através de sinônimos com o conectivo “OR” e palavras associadas ao tema deste trabalho através do conectivo “AND”, como mostrado no Quadro 2. Por fim, cada uma das *strings*, de cada categoria, foi somada com o conectivo "AND".

Quadro 2 – Processo de refinação da string de busca

Categoria	String
Internet das Coisas	("Internet of Things") OR ("IoT") OR ("Internet das Coisas")
Cidades inteligentes	("Smart Cities") OR ("Cidades Inteligentes")
5G	"5G"
Transportes inteligentes	("Intelligent Transportation System") OR ("ITS") OR ("Sistemas de Transporte Inteligente")
Mobilidade urbana	("Public"AND "Transportation") OR ("Transporte"AND "Público") OR ("Urban"AND "Traffic") OR ("Tráfego"AND "Urbano")

Fonte: Autor.

Para os critérios de inclusão foram compreendidos: artigos primários, revisados por pares e nos idiomas inglês e português do Brasil. Entre os critérios de exclusão foram considerados: artigos resumidos, livros, relatórios técnicos, literatura cinza em geral, artigos duplicados e artigos fora do contexto de sistemas de transportes inteligentes com 5G. Não foi colocado intervalo de tempo para delimitar os artigos em razão de o 5G ser uma tecnologia recente, lançada no mercado em 2019.

Na primeira fase de seleção foi obtido um total de 186 artigos, como mostra a Tabela 1. A segunda fase de seleção foi estabelecida com a utilização dos critérios de inclusão, com uso de filtros nos sites das bases para selecionar os artigos primários e nos idiomas inglês ou português do Brasil, desta forma foram obtidos um total de 143 artigos, mostrados na Tabela 2.

Tabela 1 – Primeira fase de seleção dos artigos

Base Bibliográfica	Resultados
Compendex - Engineering Village	104
IEEE Xplore	40
Scopus (Elsevier)	42

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Segunda fase de seleção dos artigos

Base Bibliográfica	Resultados
Compendex - Engineering Village	83
IEEE Xplore	35
Scopus (Elsevier)	23

Fonte: Autor.

A terceira fase foi composta pelo início do processo dos critérios de exclusão, com a retirada de artigos apenas com o resumo e duplicados. Após, foi verificado o contexto deles através da leitura do resumo, introdução e conclusão de cada um. A Tabela 3 mostra o resultado deste procedimento, que devido às várias etapas e uma análise mais minuciosa, constou com o número final de 55 artigos. A quarta fase de seleção é a leitura completa de todos os artigos para verificar se o contexto destes correspondem com o objetivo deste trabalho e a qualidade dos artigos é relevante, ou seja, fornece dados nos cenários que respondem às questões de pesquisa deste documento. A Tabela 4 mostra a quantidade de artigos que foi selecionada de acordo com cada fonte de pesquisa. Os artigos são discutidos na Seção 4 de resultados e discussões.

Tabela 3 – Terceira fase de seleção dos artigos

Base Bibliográfica	Resultados
Compendex - Engineering Village	39
IEEE Xplore	11
Scopus (Elsevier)	5

Fonte: Autor.

Tabela 4 – Terceira fase de seleção dos artigos

Base Bibliográfica	Resultados
Compendex - Engineering Village	9
IEEE Xplore	2
Scopus (Elsevier)	2

Fonte: Autor.

3.3 AMEAÇAS À VALIDADE

Várias ameaças podem afetar os resultados deste trabalho. Para mitigar essas ameaças, foram seguidas as diretrizes propostas por Kitchenham e Charters (2007). Para mitigar as ameaças validade interna, em especial na busca dos e seleção dos estudos, estas etapas foram feitas por dois pesquisadores e analisadas por um terceiro pesquisador em caso de divergência entre os dois primeiros. Outro ponto de ameaça é o conjunto limitado de base de dados que foi utilizado, assim, é possível que estudos relevantes não tenham sido incluídos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta uma análise dos resultados encontrados no desenvolvimento da revisão sistemática descrita na Seção 3, de acordo com as questões de pesquisa abordadas.

4.1 COMO O 5G EM STIOS AFETA A CONFIABILIDADE EM RELAÇÃO AOS HORÁRIOS DE PARADA

Foram encontrados 3 estudos (Quadro 3) que relacionam a questão de pesquisa 1 sobre os horários de parada de veículos de transporte público, seja com melhora no tempo de chegada a seu destino ou informando o usuário sobre a situação do veículo no trajeto em tempo real.

10

Quadro 3 – Artigos que respondem a questão de pesquisa 1

Autor	Título
(Alanazi, 2023)	<i>Development of Smart Mobility Infrastructure in Saudi Arabia: A Benchmarking Approach</i>
(Antonio; Maria-Dolores, 2022)	<i>Multi-Agent Deep Reinforcement Learning to Manage Connected Autonomous Vehicles at Tomorrow's Intersections</i>
(Paszkievicz <i>et al.</i> , 2021)	<i>Traffic Intersection Lane Control Using Radio Frequency Identification and 5G Communication</i>

Fonte: Autor.

Os resultados evidenciam a importância do planejamento para o aprimoramento da mobilidade urbana em cidades inteligentes. No Japão há 92.70% de cobertura de internet, 3.233 veículos autônomos conectados. Na Coreia do Sul, 96.50% do país tem cobertura de internet, 3.525 veículos autônomos conectados. Em Singapura 89.73% do país dispõe de internet, possui 3.379 veículos autônomos conectados. Ao constatar a abrangente cobertura de internet em países asiáticos, torna-se compreensível sua liderança em Sistemas de Transportes Inteligentes (STIs).

O uso combinado do 5G e da inteligência artificial para prever cenários e informar os usuários é fundamental nesses países, impulsionando o desenvolvimento de seus sistemas e servindo de referência para outros contextos globais. No que se refere aos congestionamentos, os artigos selecionados destacam as interseções como um fator impactante no tempo de chegada ao destino. Evidenciam-se esforços empregados por meio do 5G e da inteligência artificial para otimizar semáforos, melhorar o fluxo de tráfego e reduzir o tempo de viagem.

No estudo Alanazi (2023) são apresentados o Japão, Singapura e Coreia do Sul como líderes globais em STIs. No Japão foi implantado o Sistema de Prioridade de Transporte Público, que dá prioridade ao transporte público em interseções sinalizadas, reduzindo o tempo de viagem, aumentando a conveniência do usuário, e encorajando pessoas a usarem transporte público em vez de carros particulares. Além disso, o Sistema de Controle de Operações Móveis promove localização e horário de forma precisa dos ônibus.

O Sistema de Prioridade de Transporte Público funciona em uma faixa da estrada com sinalização e a central de controle de tráfego envia esses sinais para um transmissor que os exibe, para que o ônibus continue seu trajeto sem parar em interseções ou até para alertar outros tipos de veículos de que há um ônibus próximo, para que ele saia da faixa e vá para outra. O Sistema de Controle de Operações Móveis atua quando ônibus passam por setores com semáforos, esses semáforos capturam dados desses ônibus como tempo, localização e enviam para a central de controle de tráfego, em seguida estes dados são encaminhados para os terminais de ônibus em forma de gráficos e mapas.

O artigo de Alanazi (2023) destaca também que na Coreia do Sul há o Sistema de Gerenciamento de Informação de Ônibus, projetado para aumentar o uso de ônibus como transporte público ao fornecer em tempo real, no *smartphone*, o horário de chegada, a localização atual, rota do ônibus, e informações incidentes disponibilizadas para o usuário baseado nos dados coletados e exibidos no terminal de ônibus, em um sistema na web e por aplicativo para *smartphone*. Em Singapura há o programa de mobilidade inteligente urbana que utiliza tecnologias inteligentes para melhorar e tornar mais confiável o transporte público, dentre elas estão veículos autônomos e conectados, um Centro de Inteligência e Pesquisa para Veículos Autônomos (CETRAN) para desenvolver testes e estabelecer padrões para o uso de veículos autônomos em Singapura, serviços de transporte sobre demanda e dados livres para análise de informações e transparência.

O artigo de Antonio e Maria-Dolores (2022) mostra o *Advanced RAIM (adv.RAIM)*, uma aplicação de gerenciamento de interseções para veículos autônomos com o uso do 5G, que melhora o fluxo do trânsito em interseções para Veículos Autônomos Conectados. Este sistema

funciona baseado na técnica de aprendizagem por reforço profundo com agentes múltiplos que executam ações que podem afetar estados e outros agentes, neste caso agir na velocidade de todos os veículos autônomos em cenário de intersecção para reduzir o tempo gasto de parada nas interseções e passar por ela de forma rápida mas também segura com a velocidade controlada. Em um cenário testado próximo do ambiente real usando o *adv.RAIM*, o tempo da viagem foi reduzido em 59% e o tempo de congestionamento foi reduzido em 95% quando comparado com semáforos com controle por luzes.

A aplicação de Paszkiewicz *et al.* (2021) propõem uma nova solução V2I para os semáforos, com uso do 5G e Radio Frequency Identification (RFID) para controle de tráfego em tempo real nas interseções em uma linha específica da estrada. O RFID permite obter informações sobre os tipos dos veículos e a quantidade deles em uma linha da estrada, e o 5G provê a tecnologia de comunicação necessária para situações em tempo real no meio urbano para que o semáforo seja ajustado de acordo com esses dados. No cenário de linhas específicas para ônibus o algoritmo desenvolvido estende o tempo de luz verde do semáforo para os ônibus passarem pelas interseções. Testes realizados na cidade de Rzeszów, na Polônia, mostram uma melhora de 20% a 30% no fluxo de veículos.

4.2 COMO OS STIOS, APOIADO COM O 5G, PÚBLICO PODEM DIMINUIR O NÚMERO DE ACIDENTES

Foram encontrados 5 estudos (Quadro 4) que analisam a problemática de diminuir o número de acidentes com a utilização do 5G para aplicações STIs, que abrangem veículos como os ônibus.

Quadro 4 – Artigos que respondem a questão de pesquisa 2

Autor	Título
(Teixeira <i>et al.</i> , 2023)	<i>A Sensing, Communication and Computing Approach for Vulnerable Road Users Safety</i>
(Liu <i>et al.</i> , 2022)	<i>A Novel V2V-Based Temporary Warning Network for Safety Message Dissemination in Urban Environments</i>
(Alanazi, 2023)	<i>Development of Smart Mobility Infrastructure in Saudi Arabia: A Benchmarking Approach</i>
(Saleh; Fathy, 2023)	<i>A Novel Deep-Learning Model for Remote Driver Monitoring in SDN-Based Internet of Autonomous Vehicles Using 5G Technologies</i>
(Antonio; Maria-Dolores, 2022)	<i>Multi-Agent Deep Reinforcement Learning to Manage Connected Autonomous Vehicles at Tomorrow's Intersections</i>

Fonte: Autor.

Dentre os estudos selecionados, destaca-se o papel fundamental dos veículos autônomos na melhoria da segurança, especialmente na prevenção de acidentes, incluindo a detecção de motoristas sonolentos. Até mesmo no nível 3 de automação, em que o usuário ainda está no controle, o sistema pode assumir a direção quando necessário. O 5G desempenha um papel crucial nas redes veiculares, permitindo a rápida disseminação de informações com baixa latência, enquanto a inteligência artificial complementa tais sistemas com aplicações para prever cenários de perigo.

A aplicação de Teixeira *et al.* (2023) auxilia na previsão de situações de perigo e colisões entre veículos e pedestres por meio do uso de múltiplos sensores, comunicação via 5G e computação de borda. O sistema recebe a informação do veículo inteligente e da cidade inteligente através de radares e câmeras, e obtém a situação do usuário vulnerável na estrada – crianças, pessoas com deficiência, idosos e pedestres em geral – a partir dos seus smartphones. O trabalho une os dados e processa a informação para decidir se a colisão é provável, alertando o veículo e o usuário vulnerável. A confiança é de 95% ao prever potenciais situações.

No artigo de Liu *et al.* (2022) é proposta uma rede de avisos/alertas para, em caso de acidentes, a mensagem ser disseminada por meio de rede aos veículos na área ou próximos da área para serem alertados. Este esquema funciona no cenário de tráfego urbano, quando o veículo detecta um acidente ou veículo em emergência (ambulância, carro de bombeiros) é requerido o serviço chamado de reserva de estrada, o veículo transmite o evento da informação de mensagem de segurança com horário e local da ocorrência, a duração estimada e os segmentos de estradas afetados pelo evento. Em seguida os veículos de retransmissão são selecionados, e utilizando uma lógica com grafos é construída uma rede dinâmica de avisos/alertas temporária para que a mensagem seja disseminada via V2V para a região de interesse, que são estradas vizinhas próximas à área de ocorrência. A mensagem alcança cobertura de aproximadamente 100% da região de interesse do acidente, na qual 70% de cobertura da área de região de interesse é notificada após 200 segundos e pode contribuir para evitar congestionamentos e mais acidentes por falta de atenção.

De acordo com Alanazi (2023) a Coreia do Sul tem como objetivo tornar-se líder em tecnologia de veículo autônomo até 2030 e reduzir as mortes por acidentes no trânsito em 75% com a utilização de sistemas como o Sistema de Aplicação de Tráfego Automático para detectar sinais de violações na via destinada para BRTs (Ônibus de Transporte Rápido), estacionamento ilegais, e o sistema Peso em Movimento para medir a altura, o peso de veículos de carga, coletar estes dados e aplicar as violações para proteger as estruturas das estradas. Este projeto de redução de número de mortes foi desenvolvido em 2013, chamado de Plano Principal C-ITS,

uma iniciativa do governo para desenvolvimento da infraestrutura e melhor comunicação em tempo real entre V2V e V2I com uso de C-ITS e instalação de unidades a bordo, verificação de tecnologia, manutenção de sistemas, legislações por meio de padrões estabelecidos e serviços que incluem coleta de dados, disseminação de informações, coleta de pedágio, suporte para direção segura, cuidado de pedestres e prevenção de acidentes através de funções como parada imediata do veículo, detecção de objetos caídos na estrada ao motorista.

Em Saleh e Fathy (2023) é descrita uma aplicação que detecta motorista sonolento, informa por meio de mensagem ao servidor no centro de controle remoto que muda o veículo autônomo para ser operado à distância. O motorista é identificado em estado sonolento através de câmeras instaladas que o monitoram e identificam se sua expressão facial é de alguém cochilando. Utiliza-se aprendizado de máquina na “borda” no veículo, para que seja analisado o rosto do motorista e SDN para que a mensagem seja propagada de maneira rápida com o mínimo de atraso possível que o serviço exige e realizar a comunicação com o Centro de Controle Remoto para que assuma a operação do veículo em caso do motorista estar dormindo. Para aplicações de segurança em cenário de trânsito intenso, com a métrica de tempo de mensagem enviada pelo veículo até ser respondida pela aplicação do servidor, usando MEC houve 73,46 ms em média de tempo de resposta, sem MEC 3.849,49 ms.

No artigo de Antonio e Maria-Dolores (2022) mostra que a aplicação do algoritmo *adv.RAIM* torna o ambiente mais seguro ao controlar a velocidade periodicamente dos veículos autônomos conectados nas interseções. Os agentes múltiplos atuam na velocidade de todos os veículos autônomos, ela começa a ser controlada pelos agentes próximo do ponto de interseção para reduzir e eliminar colisões. Após cerca de 7.000 simulações para o aprendizado com reforço profundo, a média de colisões de veículo chega a perto de zero.

4.3 COMO OS STIOS PODEM AUXILIAR NA SEGURANÇA DOS DADOS, DOS USUÁRIOS, POR MEIO DO 5G

Foram encontrados 7 estudos (Quadro 5) que verificam a questão de segurança e também privacidade das informações transferidas nas comunicações envolvendo o uso de 5G nas cidades inteligentes.

É possível constatar que a área de segurança dos dados é um dos grandes desafios para aplicações que utilizam dispositivos que trocam informações, estas muitas vezes sensíveis. A quantidade de resultados encontrados, comparados com as outras questões de pesquisa, demonstra isso. Artigos que tratam da localização dos usuários utilizam a técnica de *crowdsensing* ou MCS para a localização e mantém a privacidade dos usuários com os dados

não sendo fornecidos para terceiros. Há também preocupação com sobrecarga, desempenho em situação de tempo real e com muitos dados concentrados para troca de informação, como o ônibus de transporte público, é fundamental, por isso aplicações com foco em segurança precisam levar em consideração também o desempenho, ser seguro e rápido.

Quadro 5 – Artigos que respondem a questão de pesquisa 3

Autor	Título
(Safavat; Rawat, 2021)	<i>On the Elliptic Curve Cryptography for Privacy-Aware Secure ACO-AODV Routing in Intent-Based Internet of Vehicles for Smart Cities</i>
(Liu; Yan, 2022)	<i>Efficient Privacy Protection Protocols for 5G Enabled Positioning in Industrial IoT</i>
(Wang et al., 2022)	<i>CLASRM: A Lightweight and Secure Certificateless Aggregate Signature Scheme with Revocation Mechanism for 5G Enabled Vehicular Networks</i>
(KHAN et al., 2021)	<i>Robust, Resilient and Reliable Architecture for V2X Communications</i>
(Schuhbäck; Wischhof; Ott, 2023)	<i>Cellular Sidelink Enabled Decentralized Pedestrian Sensing</i>
(Li et al., 2022)	<i>Crowd-Learning: A Behavior-Based Verification Method in Software-Defined Vehicular Networks With MEC Framework</i>
(Cui et al., 2022)	<i>Reliable and Efficient Content Sharing for 5G-Enabled Vehicular Networks</i>

Fonte: Autor.

O artigo de Safavat e Rawat (2021) utiliza a Curva de Criptografia Elíptica (CCE) otimizado com o protocolo de rota de dados *Ant Colony Optimization Ad hoc On-demand Distance Vector* (ACO-AODV) para detectar e evitar veículos maliciosos e manter os dados criptografados. A CCE é um algoritmo de criptografia para proteger os dados, ele gera uma chave pública mas que é também protegida do acesso de usuários maliciosos. O ACO-AODV é utilizado para descobrir o melhor caminho entre o veículo de origem e o de destino com o propósito de transmitir os dados. Assim a aplicação detecta e também evita veículos maliciosos com a CCE, e a sobrecarga desta aplicação é de cerca de 0,6 *kilobit* por segundo a cada 500 veículos, o menor entre as outras duas aplicações comparadas, com atraso esperado de até 20 segundos a cada 500 veículos.

A aplicação de Liu e Yan (2022) fornece a privacidade em comunicações Dispositivo-para-Dispositivo através de dois protocolos, no contexto de que com o 5G a posição onipresente, ubíqua, será ainda mais precisa, abaixo de 1 metro de erro na precisão,

principalmente em zonas urbanas e fechadas. Os protocolos funcionam com diferentes restrições de privacidade, um protocolo assume que a localização estará disponível publicamente, em cenários de localização a céu aberto, ainda sim previne o vazamento de distância e localização medida de forma mais precisa para obtenção de coordenadas, enquanto que o outro protocolo é utilizado quando a localização é considerada sensível, cenários fechados, e precisa ser protegida com a utilização de chave de criptografia. Os dois protocolos são 4,5 vezes mais rápidos que o protocolo usado como comparação, o tempo de processamento é sempre abaixo de 100 milissegundos (ms) comparado ao outro que leva 450 ms no nível mais curto de segurança e 2.200 ms no nível mais longo.

Em Cui *et al.* (2022) é proposto privacidade e segurança para a transferência de mensagens para a RSUs em comunicação V2I com um algoritmo de assinatura agregada sem certificado (CLAS) com o uso de Curva de Criptografia Elíptica (ECC), a fim de reduzir a sobrecarga computacional e atender os requisitos de baixo atraso de uma rede de comunicação veículos 5G. O algoritmo identifica assinaturas inválidas de veículos com usuários maliciosos e bloqueia seu acesso para que eles não ataquem novamente. Comparado a outros esquemas, as sobrecargas são menores que os outros 3 esquemas, com 60 *bytes* de sobrecarga computacional da Unidade Central de Processamento (CPU) e 100 *bytes* de sobrecarga de comunicação.

A aplicação de Khan *et al.* (2021) utiliza o 5G em 3 níveis computacionais, computação de borda, computação em nuvem e computação em névoa para a comunicação V2X, proporcionando maior robustez para máximo desempenho de redes de veículos e segurança com o uso de *blockchain*. A computação de borda provê baixa latência na borda, ou seja próximo do usuário, enquanto que a computação em névoa fornece baixa latência na conexão da rede para computar, armazenar e fazer a conexão entre dispositivos na borda e os recursos que usam computação em nuvem que precisam de conexão de alta velocidade. Ao obter esses dados, a aplicação utiliza aprendizado de máquina para definir a prioridade dos dados e de seleção da rede, em seguida utiliza-se o *blockchain*.

O *blockchain* mantém a integridade e segurança no fluxo de transação dos dados durante a comunicação entre os veículos, com cada transação desses dados entre veículos sendo encadeada no formato de bloco, uma seguida da outra, e esta tecnologia é utilizada com o auxílio de controladores SDN para gerenciar os dados. Os resultados mostraram que em 98% do tempo, a conectividade do carro é prevista de forma correta para organizar a rede com várias comunicações, e o *blockchain* proposto é eficiente, com cerca de 300 blocos de dados de veículos sendo processados em menos de 10.000 PoW, que é a medida de poder computacional para processar a validação da transação de *blockchain*.

O artigo de Schuhbäck, Wischhof e Ott (2023) apresenta uma arquitetura para utilização de aplicações mobile *crowdsensing* de forma descentralizada, desta forma o dado de localização de pedestre é protegido para a criação de mapas de fluxo ou de densidade e não fica tão exposto como em um serviço centralizado. Essa descentralização é obtida por meio do 5G com o uso da funcionalidade de link lateral, que permite comunicação direta D2D sem a participação de uma base de estação para transmitir e receber dados. Esses sistemas de mobile *crowdsensing* são utilizados em STIOs para estimar o tempo de chegada de ônibus a partir da densidade de um conjunto de pedestres. O mapa de densidade mostra bom desempenho no cenário de mundo real com no máximo 0.025 na métrica de taxa de erro de contagem de pedestres.

O método descrito no artigo de Li *et al.* (2022) realiza verificação do problema de roubo de identidade causado por veículos anômalos ou RSUs falsas. Esses elementos maliciosos podem mandar falsas condições sobre as estradas e dados de sensores falsificados, eles são estimulados pelo desenvolvimento do 5G com as frequentes transferências entre diferentes infraestruturas em movimento. O método tenta obter o comportamento correto do veículo e da infraestrutura na IoV por meio de um controlador SDN com uso de MEC que notifica o RSU com antecedência para que um veículo seja verificado e o algoritmo busca dados de múltiplos RSUs do veículo para analisar seu comportamento de chegada com o que é esperado. A precisão na verificação é acima de 95% para veículos, mesmo sobre relativa pouca condição de segurança da rede, sob a proporção de RSUs falsas ser de 60% e veículos anômalos ser 10%.

Em seu artigo, Cui *et al.* (2022) propõe um esquema de autenticação de mensagem baseado em CCE e comunicação V2V com compartilhamento de dados entre redes de veículos com 5G sem a necessidade de RSUs para isto afinal, elas são consideradas arriscadas em questão de segurança para o armazenamento de dados e com sobrecarga para computação dos dados. O uso do 5G satisfaz a necessidade de comunicação em larga escala em um esquema que isola os detalhes do conteúdo da mensagem para a sua autenticação. Ao selecionar a mensagem requisitada e verificá-la para autenticação a aplicação tem sobrecarga computacional menor comparado aos outros 4 estudos, com 0,9684 e 0,9698. Ao considerar o atraso de comunicação também é o melhor valor comparado com os outros 4.124 bytes por mensagem.

4.4 CONSIDERAÇÕES

Esta seção mostra a necessidade de internet de alta velocidade como o 5G dado que as situações em que essas aplicações atuam são críticos, nas quais demandam respostas rápidas em cenários de prevenção e minimizar os danos na área de segurança dos dados, ao informar o usuário de possíveis acidentes, controlar o trânsito e fornecer informações com precisão para

melhorar a satisfação do usuário ao usar o ônibus em uma iniciativa para que ele use mais o ônibus, com um serviço aprimorado pelas tecnologias dos STIOs, e com isso ajude a mobilidade urbana na era das cidades inteligentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

O avanço do número de dispositivos IoT e pessoas conectadas no meio urbano tornou essencial que exista uma comunicação como o 5G, que promete oferecer baixa latência, alta velocidade e funcionalidades que beneficiem estes dispositivos que atuam nos mais diversos setores, inclusive nos transportes. Além disso, a melhoria da locomoção e a grande dependência do transporte público por parte de muitas pessoas colocam os dispositivos IoT na vanguarda para ajudar a resolver os desafios da mobilidade urbana.

Assim, o propósito deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática, com base na análise dos sistemas de transportes inteligentes no transporte público aplicados, ou que possam ser, em ônibus, e sua contribuição para a sociedade, a partir de pesquisa e coleta de dados na literatura. Assim, este trabalho analisou a direção dos estudos de sistemas de transportes inteligentes que utilizam ônibus como modal e 5G como rede de comunicação. Ao realizar esse processo, foi possível constatar a grande necessidade por segurança, sobretudo dos dados, em um cenário na qual o crescimento de dispositivos para comunicar e transferir dados é exponencial, a "corrida" para manter privacidade das informações e prevenir ataques maliciosos torna-se inevitável.

Ao considerar o setor de transporte inteligente, as tecnologias de *blockchain*, a técnica de curva elíptica, além do próprio 5G com o MEC e a tecnologia de particionamento da rede, são vistos como opção para elaboração de arquiteturas que têm sido propostas. Além da segurança dos dados, nota-se a grande importância da inteligência artificial para tornar essas informações úteis e auxiliar os ônibus e outros transportes para melhor fluxo de trânsito por meio de melhor automação das intersecções, e utilização de aprendizagem de máquina, aprendizado profundo para notificar os usuários de situações de perigo.

A partir deste estudo, torna-se possível continuar investigando a influência da inteligência artificial como aliada do 5G para aprimorar a qualidade dos serviços de transporte público. Outro tópico em ascensão e já presente em setores de transporte é a mobilidade como serviço ou *Mobility as a Service* (MaaS). Explorar como o setor de transporte público com ônibus, as cidades, as governanças públicas, se adaptam a esse serviço e fornecer melhorias a partir dele é uma possibilidade a ser explorada.

REFERÊNCIAS

ALANAZI, F. Development of smart mobility infrastructure in saudi arabia: A benchmarking approach. **Sustainability**, v. 15, n. 4, 2023. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/3158>.

ANTONIO, G.-P.; MARIA-DOLORES, C. Multi-agent deep reinforcement learning to manage connected autonomous vehicles at tomorrow's intersections. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 71, n. 7, p. 7033–7043, 2022.

CNDL. **População dos grandes centros perde em média 21 dias do ano no trânsito, aponta CNDL / SPC Brasil**. 2022. Disponível em: <https://site.cndl.org.br/populacao-dos-grandes-centros-perde-em-media-21-dias-do-ano-no-transito-aponta-cndl-spc-brasil/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

CUI, J. *et al.* Reliable and efficient content sharing for 5g-enabled vehicular networks. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 23, n. 2, p. 1247–1259, 2022.

HANDTE, M. *et al.* An internet-of-things enabled connected navigation system for urban bus riders. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 5, p. 735–744, 2016.

HASSAN, M. **State of IoT 2022: Number of connected IoT devices growing 18% to 14.4 billion globally**. 2022. Disponível em: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

INRIX. **Global Traffic Scorecard - INRIX Global Traffic Rankings**. 2023. Disponível em: <https://inrix.com/scorecard/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

KEMP, S. **Digital 2023: Global Overview Report**. 2023. Disponível em: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>. Acesso em: 13 abr. 2023.

KHAN, M. A. *et al.* Robust, resilient and reliable architecture for v2x communications. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 22, n. 7, p. 4414–4430, 2021.

KIM, J.; MOON, Y.-J.; SUH, I.-S. Smart mobility strategy in Korea on sustainability, safety and efficiency toward 2025. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 7, n. 4, p. 58–67, 2015.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. **Keele University and Durham University Joint Report**, 2007.

LI, Z. *et al.* Crowd-learning: A behavior-based verification method in software-defined vehicular networks with MEC framework. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 2, p. 1622–1639, 2022.

LIU, B. *et al.* A novel v2v-based temporary warning network for safety message dissemination in urban environments. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 24, p. 25136–25149, 2022.

LIU, S.; YAN, Z. Efficient privacy protection protocols for 5g-enabled positioning in industrial iot. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 19, p. 18527–18538, 2022.

LYONS, G. Getting smart about urban mobility – aligning the paradigms of smart and sustainable. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 115, p. 4 – 14, 2018.

NHTSA. **Automated Vehicles for Safety**. 2023. Disponível em: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PASZKIEWICZ, A. *et al.* Traffic intersection lane control using radio frequency identification and 5g communication. **Energies**, v. 14, n. 23, 2021. ISSN 1996-1073. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/23/8066>.

SAFAVAT, S.; RAWAT, D. B. On the elliptic curve cryptography for privacy-aware secure aco-aodv routing in intent-based internet of vehicles for smart cities. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 22, n. 8, p. 5050–5059, 2021.

SALEH, S. N.; FATHY, C. A novel deep-learning model for remote driver monitoring in sdn-based internet of autonomous vehicles using 5g technologies. **Applied Sciences**, v. 13, n. 2, 2023. ISSN 2076-3417. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/2/875>.

SCHUHBÄCK, S.; WISCHHOF, L.; OTT, J. Cellular sidelink enabled decentralized pedestrian sensing. **IEEE Access**, v. 11, p. 13349–13369, 2023.

STATISTA. **Number of cars sold worldwide from 2010 to 2022, with a 2023 forecast. 2023**. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/>. Acesso em: 01 sept 2023.

SULTAN, A. **5G System Overview**. 2022. Disponível em: <https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview>. Acesso em: 13 abr 2023.

TEIXEIRA, P. *et al.* A sensing, communication and computing approach for vulnerable road users safety. **IEEE Access**, v. 11, p. 4914–4930, 2023.

WANG, Z. *et al.* Clasrm: A lightweight and secure certificateless aggregate signature scheme with revocation mechanism for 5g-enabled vehicular networks. **Wirel. Commun. Mob. Comput.**, John Wiley and Sons Ltd., GBR, v. 2022, jan 2022. ISSN 1530-8669. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/3646960>.

WEGNER, P. **The top 10 Smart City use cases that are being prioritized now**. 2020. Disponível em: <https://iot-analytics.com/top-10-smart-city-use-cases-prioritized-now/>. Acesso em: 30 abr 2023.

WEGNER, P. **Global IoT market size to grow 19% in 2023—IoT shows resilience despite economic downturn**. 2023. Disponível em: <https://iot-analytics.com/iot-market-size/>. Acesso em: 13 abr 2023.

WIJETHILAKA, S.; LIYANAGE, M. Survey on network slicing for internet of things realization in 5g networks. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 23, n. 2, p. 957–994, 2021.

XU, X. *et al.* Adaptive computation offloading with edge for 5g-envisioned internet of connected vehicles. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 22, n. 8, p. 5213–5222, 2021.