

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Luiza Campos de Deus

**TECNOLOGIA 5G-V2X: análise dos principais benefícios e limitações na região
metropolitana de Belo Horizonte**

Betim

2025

LUIZA CAMPOS DE DEUS

TECNOLOGIA 5G-V2X: análise dos principais benefícios e limitações na região metropolitana de Belo Horizonte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida.

Betim

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

D486t Deus, Luiza Campos de

Tecnologia 5G-V2X: análise dos principais benefícios e limitações na Região Metropolitana de Belo Horizonte / Luiza Campos de Deus. – 2025.

48 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Me. Virgil Del Duca Almeida

1. Comunicação veicular. 2. Prevenção de acidentes de trânsito. 3. Automação veicular. 4. Tecnologia 5G. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Deus, Luiza Campos de. II. Título.

CDU: 621.391

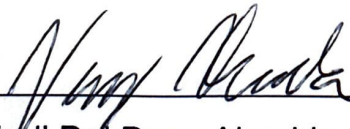
Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Denísio Pereira Marcos CRB-6/3142

Luiza Campos de Deus

TECNOLOGIA 5G-V2X: análise dos principais benefícios e limitações na região metropolitana de Belo Horizonte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

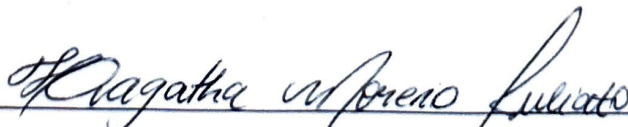
Aprovado em: 03/02/2025 pela banca examinadora:



Prof.^(a) Msc. Virgil Del Duca Almeida (Orientador) – IFMG Campus Betim



Prof. Dr. Gustavo Lobato Campos – IFMG Campus Formiga



Eng.^(a) Hagatha Moreno Juliato – Stellantis Automóveis Brasil LTDA.

Dedico este trabalho para minha família,
que sempre esteve comigo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me acompanhar durante essa árdua trajetória da Engenharia. Sou profundamente grata à minha família, especialmente aos meus pais, Carla e Fernando, que desde cedo me ensinaram a ter sede de conhecimento e persistir em meus objetivos. À minha irmã, Fernanda, que é uma inspiração como mulher engenheira em minha vida.

Agradeço a todos os professores com quem pude aprender, tanto dentro quanto fora de sala de aula, nas conversas de corredor e nos laboratórios. Em especial, ao meu orientador Prof. Virgil Del Duca, que me acompanhou durante o desenvolvimento desse trabalho. Nossos encontros me motivavam a continuar com mais afinco.

Aos meus colegas de sala, que estiveram presentes nos momentos de ansiedade antes das temidas avaliações e nos jogos de truco durante o intervalo no refeitório. Gostaria de agradecer especialmente à Aline Morais e Evellyn Fernanda, que foram minhas companheiras desde o primeiro período.

Agradeço meu parceiro, Claiver, pela parceria desde que nos conhecemos, e principalmente pela compreensão e motivação nos últimos meses que dediquei a este trabalho.

E, por fim, agradeço a Luiza de 18 anos, que escolheu a Engenharia de Controle e Automação, e perseverou durante uma pandemia, mudanças de emprego e outros desafios. Estamos quase lá!

“Se você esconder sua ignorância,
ninguém lhe baterá e você nunca irá
aprender.” – Ray Bradbury

RESUMO

Este trabalho aborda a tecnologia 5G-V2X e seus principais benefícios e limitações na região metropolitana de Belo Horizonte. A tecnologia 5G-V2X possibilita a comunicação entre veículos, pedestres, unidades de gestão de trânsito e servidores de monitoramento. Entre os benefícios destacam-se a redução de acidentes de trânsito, sendo o principal foco do trabalho, a diminuição de congestionamentos, a redução das emissões de gás carbônico e o aumento da automação veicular. No entanto, há limitações a serem discutidas, como a cobertura de sinal 5G e a idade da frota de veículos, uma vez que a implementação da tecnologia requer uma central eletrônica específica para habilitar a comunicação. Foram analisados resultados de aplicações da tecnologia em outros países, além de um estudo de cobertura de 5G em uma cidade da região metropolitana de Belo Horizonte. Apesar das inúmeras limitações para a aplicação da tecnologia, seus benefícios são relevantes nos aspectos social, ambiental e econômico. Socialmente, a tecnologia pode reduzir o número de feridos e mortos em acidentes de trânsito; ambientalmente, pode diminuir a ocorrência de congestionamentos que emitem CO₂; e economicamente, pode reduzir os gastos públicos com vítimas de acidentes de trânsito.

Palavras-chave: 5G V2X. Comunicação veicular. Redução de acidentes de trânsito. Cobertura de sinal 5G.

ABSTRACT

This paper addresses the 5G-V2X technology and its main benefits and limitation on metropolitan region of Belo Horizonte. The 5G-V2X technology enables communication between vehicles, pedestrians, traffic managements units and monitoring servers. Among the benefits are the reduction of traffic accidents, which is the focus of this paper, the decrease in traffic congestion, the reduction of carbon dioxide emissions and the advance of autonomous vehicles. However, there are limitations to consider, such as 5G signal coverage and age of vehicle fleet since the implementation of technology requires a specific electronic control unit to enable the communication. Results of technology applications in other countries were analyzed, as well as a study of 5G coverage in a city in metropolitan region of Belo Horizonte. Despite the significant limitations for applying 5G-V2X, its benefits are relevant in social, environmental, and economic aspects. Socially, the technology can reduce the number of injuries and deaths in traffic accidents; environmentally, it can decrease the occurrence of congestion that emits CO₂; and economically, it can reduce public spending on traffic accident victims.

Keywords: 5G-V2X. Vehicle communication. Accident reduction. 5G signal coverage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da comunicação V2X	16
Figura 2 – Estrutura V2X em uma cidade inteligente	20
Figura 3 – Cobertura de sinal 5G na Região Metropolitana de Belo Horizonte	27
Figura 4 – Demonstração do programa CV Pilot Deployment Plan em Wyoming.	32
Figura 5 – Alerta para conversão incorreta no retrovisor.....	33
Figura 6 – Bonde elétrico em Tampa com sistema de comunicação V2X.....	34
Figura 7 – Cobertura de sinal 5G em Betim	36
Figura 8 – Regiões sem cobertura 5G na BR-381 em Betim.	37
Figura 9 – Estações de SMP com tecnologia 5G em Betim	38
Figura 10 – Região de falta de cobertura 5G na BR-262 entre Betim e Juatuba.....	40
Figura 11 – Medições de velocidade realizadas em Betim.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Idade média dos automóveis brasileiros	24
Gráfico 2 – Percentual de cobertura 5G em cada cidade da RMBH	28
Gráfico 3 – Causas de acidentes de trânsito com óbito no Brasil	30
Gráfico 4 – Estações SMP em Betim e suas operadoras.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre resultados de testes C-V2X e DSRC.....	22
Tabela 2 – Impacto unitário máximo das aplicações V2X.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i> (tradução livre Projeto de Parceria do 3G)
5GAA	<i>5G Automotive Association</i> (tradução livre, Associação Automotiva 5G)
ACC	<i>Adaptive cruise control</i> (tradução livre, controle de velocidade adaptativo)
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
Anfavea	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CV	<i>Connected Vehicle</i> (tradução livre, Veículo Conectado)
DSRC	<i>Dedicated Short Range Communication</i> (tradução livre, Comunicação Dedicada de Curto Alcance)
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> (tradução livre, Unidade Eletrônica de Controle)
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> (tradução livre, Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações)
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (tradução livre, Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IFMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
ITG	<i>Inter-Packet Gap</i> (tradução livre, tempo entre pacotes de dados)
LKA	<i>Lane Keeping Assist</i> (tradução livre, assistente de permanência em faixa)
LTE	<i>Long Term Evolution</i> (tradução livre, Evolução a Longo Prazo)
ONG	Organização Não Governamental
PER	<i>Packet Error Rate</i> (tradução livre, taxa de erro de pacotes)
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i> (tradução livre, indicador de intensidade do sinal recebido)
RSU	<i>Road Side Unit</i> (tradução livre, Unidades de Estradas)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (tradução livre, Sociedade de Engenheiros Automotivos)
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i> (tradução livre, Módulo de Identidade do Assinante)
SMP	Serviço Móvel Pessoal
uRLLC	<i>Ultra-Reliable and Low Latency Communications</i> (tradução livre,

comunicação ultra confiável e de baixa latência)

USDOT	<i>United States Department of Transportation</i> (tradução livre, Departamento de Transportes dos Estados Unidos)
WYDOT	<i>Wyoming Department of Transportation</i> (tradução livre, Departamento de Transportes de Wyoming)
V2I	<i>Vehicle to infrastructure</i> (tradução livre, veículo para infraestrutura)
V2N	<i>Vehicle to network</i> (tradução livre, veículo para servidor)
V2P	<i>Vehicle to pedestrian</i> (tradução livre, veículo para pedestre)
V2V	<i>Vehicle to Vehicle</i> (tradução livre, veículo para veículo)
V2X	<i>Vehicle to everything</i> (tradução livre, veículo para tudo)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa.....	17
1.2	Objetivos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
1.3	Conceito fundamental da tecnologia V2X	19
1.4	Tipos de comunicação V2X	21
1.5	Principais benefícios da tecnologia 5G-V2X	22
1.6	Principais limitações da tecnologia 5G-V2X	24
3	METODOLOGIA	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
1.7	Cenário brasileiro de acidentes de trânsito	30
1.8	Benefícios da tecnologia V2X para reduzir acidentes.....	31
1.9	Principais limitações da aplicação do 5G-V2X	35
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana tem sido um desafio para centros urbanos. Com o crescimento de cidades, as pessoas se dispersam nas regiões metropolitanas e as distâncias percorridas aumentam para as necessidades como trabalho, educação, lazer e outras (HASHISAKA JUNIOR e PATAH, 2018). O crescimento das cidades requer adequação dos meios de transporte, infraestrutura, produtos e serviços relacionados a mobilidade para suportar o trânsito de pessoas. No entanto, a região metropolitana de Belo Horizonte é uma das regiões enfrentando problemas relacionados a mobilidade urbana.

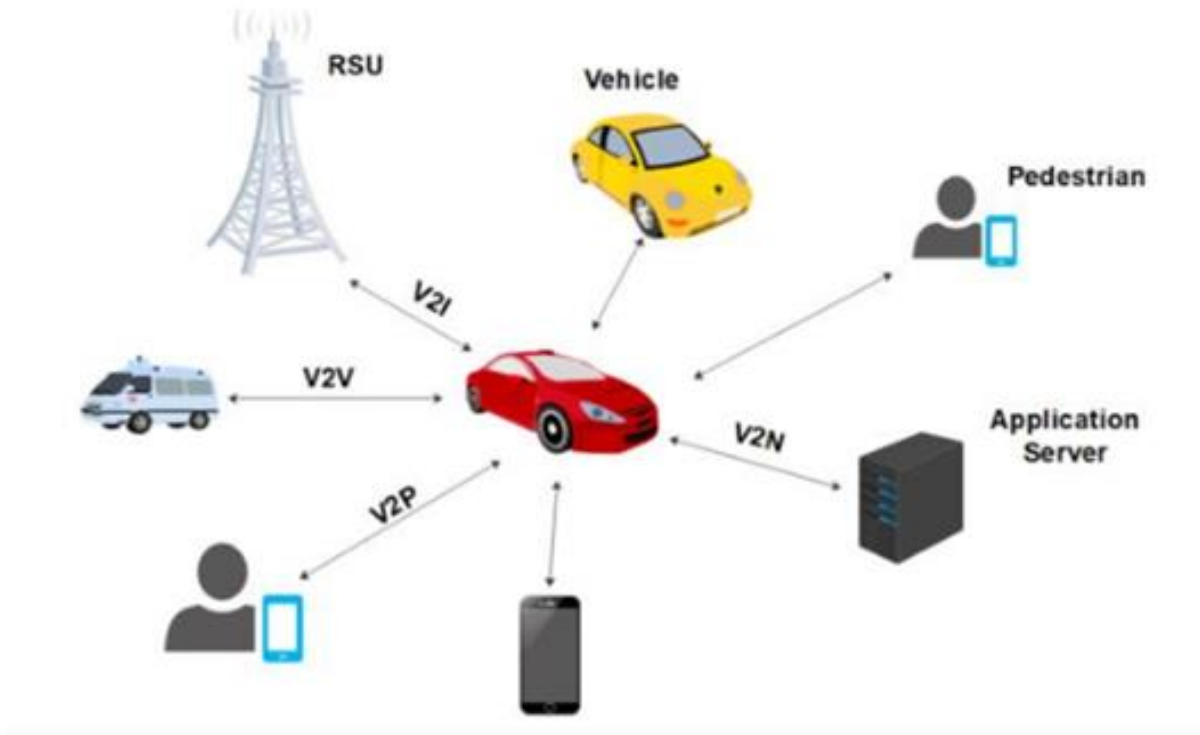
O longo tempo diário gasto no trânsito tornou-se um problema na vida dos beloizontinos. Segundo uma reportagem do jornal O Tempo, Belo Horizonte se igualou a São Paulo com o pior trânsito do Brasil. Em 2024, foi levantado que são gastos 57 minutos para percorrer 10 quilômetros no horário das 18 horas (DINIZ e REZENDE, 2024). Além dos congestionamentos que prejudicam a vida da população, a emissão de CO₂ prejudica a qualidade do ar e contribui para o aquecimento global.

Segundo o (OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA DE MINAS GERAIS, 2024), Belo Horizonte registrou 77.024 acidentes de trânsito em 2024, sendo 12.204 acidentes com vítimas e 151 acidentes com vítimas fatais. Ao todo, o estado de Minas Gerais registrou 272.625 acidentes apenas em 2024.

Uma das ferramentas para reduzir a quantidade de acidentes seria a tecnologia 5G-V2X. A tecnologia é uma evolução de comunicações veiculares que utiliza a rede 5G para conectar veículos com outros veículos, com a infraestrutura de trânsito, com pedestres e com a Internet (LIU, SHI, *et al.*, 2022). Com a sua aplicação, um veículo poderia detectar um problema em seu sistema de freio, alertar aos veículos ao redor e ao serviço de emergência da estrada, por exemplo.

Na Figura 1, se vê a estrutura de comunicação V2X, com o veículo vermelho sendo o ponto central se comunicando com os demais dispositivos. Assim, é possível compreender os diferentes entes com qual a comunicação ocorre, como os demais veículos, com pedestres, com a *Road Side Unit* (RSU), com o servidor e até mesmo com o celular.

Figura 1 – Estrutura da comunicação V2X



Fonte: (FARNELL, 2024)

Dessa forma, é relevante analisar os benefícios da aplicação da tecnologia 5G-V2X com foco na redução do número de acidentes de trânsito na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), melhorar a eficácia do tráfego de veículos e reduzir a emissão de CO₂. Além disso, se deve discutir as limitações existentes com base na infraestrutura da região, abordando a cobertura de 5G, infraestrutura veicular e das rodovias.

1.1 Justificativa

De acordo com a análise dos dados realizada pelo (ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO (ASCOM), 2024), a maior causa para os acidentes foi a falta de atenção do condutor, sendo 47% da causa de acidentes de trânsito.

Além do impacto humano com a perda de vidas, também há um impacto econômico dos acidentes de trânsito. Em 2024, o (OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA, 2024), uma ONG dedicada a desenvolver ações para redução de acidentes de trânsito com vítimas no Brasil, realizou um estudo para calcular os impactos socioeconômicos de um óbito, obtendo um custo de R\$ 728.528,24. Sendo assim, o custo estimado com óbitos no trânsito apenas em Minas Gerais para 2024 seria de R\$1.288.037.928,32.

A tecnologia 5G-V2X apresenta um grande potencial para reduzir os acidentes em rodovias, sendo relevante avaliar sua aplicação na RMBH. No entanto, existem desafios como a cobertura de 5G, cibersegurança veicular e infraestrutura para gestão de tráfego.

Dessa forma, é relevante avaliar os benefícios e limitações da tecnologia V2X em mercado brasileiro com foco na RMBH, assim como seus impactos positivos na sociedade e pontos de melhoria para implementação.

1.2 Objetivos

Objetivo principal:

- Analisar a aplicação da tecnologia 5G-V2X na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), identificando os principais benefícios e desafios associados à sua implementação, com foco na redução de acidentes de trânsito.

Objetivos específicos:

- Mapear os benefícios potenciais da tecnologia 5G-V2X na RMBH, incluindo a redução de acidentes de trânsito, diminuição de congestionamentos, redução de emissões de CO₂ e aumento dos níveis de automação veicular;
- Analisar casos de sucesso da aplicação do 5G-V2X, com foco nas aplicações com potencial de redução de acidentes de trânsito;

- Avaliar os desafios de infraestrutura para a implementação do 5G-V2X na RMBH, como cobertura de sinal 5G e instalação de RSUs (Unidades de Comunicação à Beira da Estrada);
- Analisar a cobertura de sinal 5G na RMBH, identificando pontos críticos de desconexão com foco na cidade de Betim;
- Investigar os desafios tecnológicos relacionados à compatibilidade dos veículos com o 5G-V2X, considerando a frota brasileira e possíveis soluções, como componentes *aftermarket* e incentivos governamentais;
- Examinar a percepção e aceitação do consumidor quanto à tecnologia 5G-V2X, abordando preocupações como segurança de dados e riscos cibernéticos;
- Discutir a relevância da tecnologia 5G-V2X para a sociedade, enfatizando os impactos na segurança, na eficiência do tráfego e na sustentabilidade ambiental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos básicos para compreensão do tema, com objetivo de construir um estado de arte da tecnologia V2X, seus principais benefícios e limitações.

1.3 Conceito fundamental da tecnologia V2X

Em 15 de julho de 2010, a IEEE publicou uma das primeiras normas para regulamentação de comunicação V2X, a IEEE 802.11p, que estabelece a camada física e requisitos de *Wireless LAN Medium Access Control* para comunicações veiculares sem fio. Desde então, vários estudos têm sido feitos para desenvolver uma infraestrutura robusta para viabilizar a expansão da comunicação V2X.

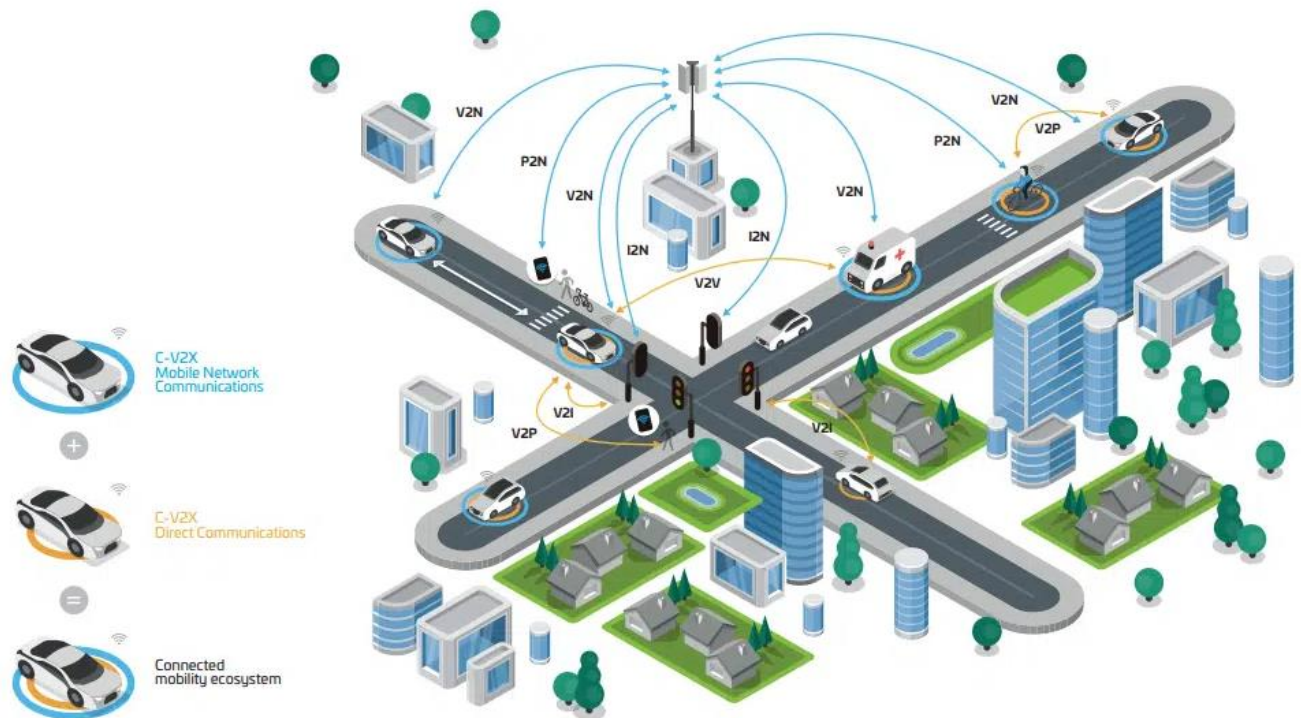
V2X é uma sigla em inglês para *vehicle to everything* (em tradução livre, veículo para tudo). De acordo com (LIU, SHI, *et al.*, 2022), um dos princípios das comunicações que compõem o V2X é o compartilhamento de mensagens em tempo real. Alguns dos dispositivos que se comunicam com o veículo e compõem a estrutura V2X são:

- *Vehicle-to-vehicle* (em tradução livre, veículo para veículo, sigla V2V): nessa comunicação, são transmitidas e compartilhadas mensagens entre os veículos para informações sobre planejamento de rota, condição atual do trânsito e seus arredores e são compartilhadas diretamente entre veículos. Geralmente, a transmissão é do tipo broadcast com uma distância limitada pelas unidades de controle a bordo;
- *Vehicle-to-infrastructure* (em tradução livre, veículo para infraestrutura, sigla V2I): as mensagens são transmitidas e compartilhadas para infraestrutura ao longo das estradas, como *Road-Side Units* (unidades ao lado da estrada, em tradução livre) e sinais de trânsito;
- *Vehicle-to-network*: mensagens são transmitidas e compartilhadas entre veículo e as redes através de plataformas na nuvem ou estações móveis, que fornecem serviços para os veículos;
- *Vehicle-to-pedestrian*: as mensagens são transmitidas e compartilhadas entre o veículo e os usuários das vias que não estão em carros, não se limitando apenas a pedestres e abrangendo também os ciclistas.

Dessa forma, a estrutura V2X possibilita a comunicação dos veículos entre si, com a infraestrutura de trânsito, com redes e até mesmo com pedestres. No contexto de cidades inteligentes, o tráfego inteligente desempenha um importante papel, e um

grande facilitador para que isto ocorra é a estrutura V2X. Na Figura 2, vê-se a integração entre os veículos, os pedestres, a infraestrutura e a rede em uma cidade. As setas em azul representam a comunicação dos dispositivos com a rede, enquanto as setas amarelas representam a comunicação direta entre os dispositivos. De acordo com a 5GAA¹, a comunicação direta entre os dispositivos, ou seja, V2V, V2I e V2P, são comunicações de curta distância e que podem operar sem assistência de uma rede ou um chip SIM, utilizando GNSS² como o principal recurso de sincronização de tempo. No entanto, para a comunicação integrada com a cidade inteligente, é necessário que exista uma comunicação de redes celulares sem fio.

Figura 2 – Estrutura V2X em uma cidade inteligente



Fonte: (5GAA, 2024).

¹ 5GAA, sigla para *5G Automotive Association*, é uma organização global com empresas do setor automotivo, de tecnologia e de telecomunicações, com objetivo de desenvolver e promover soluções de conectividade para veículos utilizando tecnologia 5G.

² GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) é um sistema que utiliza a rede de satélites para determinar a localização exata de um objeto ou pessoa em qualquer lugar do mundo. O sistema utiliza várias constelações de satélites, como GPS (americano), GLONASS (russo), Galileo (europeu) e BeiDou (chinês). Os satélites GNSS possuem relógios atômicos extremamente precisos, que garantem a sincronização de tempo com precisão de nanossegundos.

O 5G é a quinta geração de tecnologia de redes celulares sem fio. Ele oferece altas velocidades, baixa latência e tem uma capacidade de conexão muito maior que as redes anteriores. Considerando a tecnologia V2X, que depende de troca de informações em tempo real, é uma característica crucial para informar e alertar o motorista de situações adversas, como atraso no recebimento de uma mensagem. Além disso, no cenário com veículos autônomos, a baixa latência é crucial para a tomada de decisões rápidas e seguras, como durante uma ultrapassagem ou frenagem.

Uma das primeiras aplicações práticas da comunicação V2X foi desenvolvida pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos da América (USDOT) e pelo Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI), chamado *dedicated short-range communication* (em tradução livre, comunicação dedicada de curto-alcance, sigla DSRC), que permitia comunicação entre veículos e outros dispositivos inteligentes. O DSRC apresentou baixa latência, baixa interferência, alta confiabilidade e alta praticidade mesmo em condições climáticas extremas.

Com o avanço de soluções de comunicação móvel, como o 3G, uma nova tecnologia de comunicação foi proposta em 2015 pela 3GPP, chamada Celular-V2X (C-V2X), que possibilita comunicação em redes celulares. Após isso, com o 4G LTE e 5G, o C-V2X evoluiu das redes LTE-V2X para o 5G-V2X, que permite funcionalidades de segurança para veículos autônomos de diferentes níveis, que serão discutidos abaixo.

1.4 Tipos de comunicação V2X

Conforme mencionado anteriormente, a primeira tecnologia V2X foi a DSRC. A DSRC foi desenvolvida com base na IEEE 802.11p (Emenda ao padrão IEEE 802.11 para adição de comunicação wireless em ambientes veiculares), e é composto por duas unidades principais: as unidades embarcadas (OBU, *onboard units*), presentes nos veículos e as unidades de estradas (RSU, *road side units*). A comunicação DSRC oferece boa performance em cenários que uma latência maior que 100 ms, no entanto, sua performance piora quando a rede se torna mais densa, de acordo com (DUTRA, MENEGUETTE e PEREIRA JR., 2021).

Já o C-V2X, em sua primeira versão com LTE, apresenta performance superior a DSRC, no entanto, conforme o tráfego aumenta, a performance apresenta queda de qualidade devido a interferência por reuso de frequência.

Já o 5G-V2X possui uma grande capacidade de transferência de dados, baixa latência e alta confiabilidade, sendo ideal para o V2X. Além disso, o 5G-V2X utiliza dois tipos de comunicação, sendo *unicast*, quando os dados são enviados a um veículo específico, e *groupcast*, quando os dados são enviados a um grupo de veículos.

A principal característica do 5G que melhora significativamente a comunicação V2X é a uRLLC (*Ultra-Reliable and Low Latency Communications*). Com comunicação ultra confiável e de baixa latência, é possível ter funções de segurança veicular com alta precisão, para evitar acidentes entre veículos e atropelamentos.

Segundo o (5GAA, 2018), em testes realizados entre março e setembro de 2018, foi comprovado que o C-V2X apresenta performance superior ao DSRC em diferentes métricas para comunicação V2V. Algumas das métricas avaliadas foram *Packet Error Rate* (PER), latência, *Inter-Packet Gap* (ITG) e *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), além de testes de resistência a interferência, congestionamento de sinal e outros. Os testes foram realizados tanto em laboratório quanto em campo.

De acordo com a Tabela 1, que resume os resultados encontrados, o C-V2X foi superior ao DSRC em 5 dos 8 testes realizados, e nos 3 testes mencionados como aprovado, tanto o C-V2X quanto DSRC atendem aos requisitos da norma de teste.

Tabela 1 – Comparação entre resultados de testes C-V2X e DSRC

Confiabilidade	Laboratório Testes Cabeados Tx e Rx	C-V2X melhor que DSRC
	Campo Teste de Alcance Line-of-Sight (LOS)	C-V2X melhor que DSRC
	Campo Teste de Alcance Non-Line-of-Sight (LOS)	C-V2X melhor que DSRC
Interferência	Laboratório Teste Cabeado com Interferência de Cocanal	C-V2X melhor que DSRC
	Laboratório Teste Cabeado Near-Far	Aprovado
	Campo Coexistência com Wi-Fi 80MHz Largura de banda em UNII-3	C-V2X melhor que DSRC
Congestão	Campo Coexistência do V2X com Portadora Adjacente DSRC	Aprovado
	Laboratório Controle de Congestionamento Cabeado	Aprovado

Fonte: adaptado de (5GAA, 2018).

1.5 Principais benefícios da tecnologia 5G-V2X

De acordo com (LIU, SHI, *et al.*, 2022), a tecnologia V2X é um precursor para a mobilidade inteligente. É esperado que os benefícios sejam enormes para a

sociedade, como diminuição de tempo diário no trânsito, redução de acidentes e até mesmo diminuição de emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global.

A tecnologia 5G-V2X aliada ao aumento de automação veicular também possui grande potencial para melhorar o transporte urbano. A taxonomia técnica J3016 criada pela SAE (*Society of Automotive Engineers*, em tradução livre, Sociedade de Engenheiros Automotivos) define seis níveis incrementais de automação para veículos. Os níveis são descritos do menos automatizado para o mais automatizado e, conseqüentemente, com menor ou nenhuma necessidade de interferência humana. Os níveis são:

- Nível 0 (ou L0): o motorista é totalmente responsável pela condução, como controle da direção, acelerar, frear e estacionar;
- Nível 1 (ou L1): o veículo auxilia com operações, como controle de velocidade adaptativo (ACC, do inglês *adaptive cruise control*) e assistente de permanência em faixa (LKA, do inglês *Lane Keeping Assistance*);
- Nível 2 (ou L2): o veículo tem automação parcial para algumas operações, como operações de frenagem de emergência ou assistência para estacionar;
- Nível 3 (ou L3): o veículo consegue gerenciar todas as atividades para dirigir, no entanto, o motorista deve estar atento para assumir o controle em uma situação de perigo;
- Nível 4 (ou L4): veículo é totalmente responsável pelo ato de dirigir e pelas tarefas de navegação, mas em situações de perigo e tomada de decisão, o motorista deve intervir;
- Nível 5 (ou L5): o veículo é completamente autônomo e pode tomar todas as decisões, pode trafegar em qualquer local, sendo estradas, ruas, até mesmo *off-road*. Nesse cenário, não é necessário pedais ou volante.

À medida que o nível de automação aumenta, são necessários mais sensores, unidades de controle com maior capacidade de processamento, tomadas de decisões computacionais e execução das ações. Embora os veículos sem conectividade possam gerenciar diversos cenários, a comunicação V2X proporciona uma direção mais segura e eficiente, com informações extras aprimorando a percepção de situações de risco, adaptação de rotas com base no tráfego e melhoria na antecipação de eventos anormais.

1.6 Principais limitações da tecnologia 5G-V2X

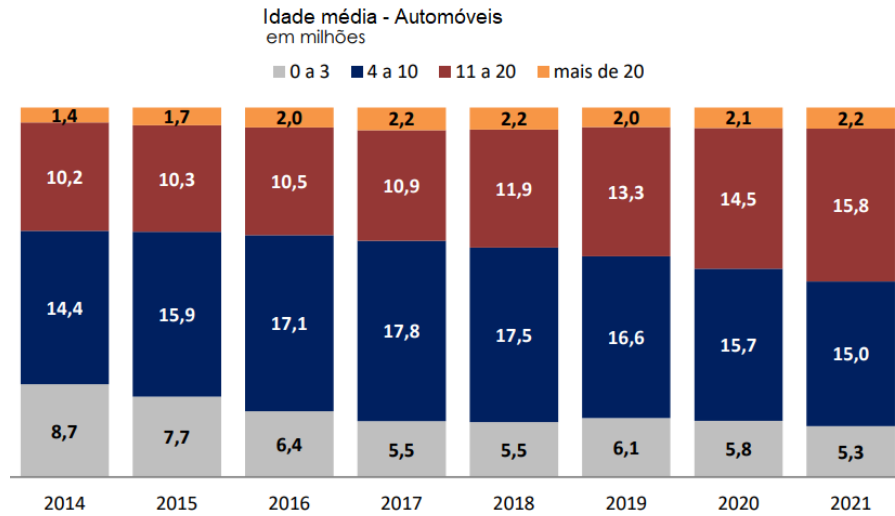
Para a aplicação do 5G-V2X, é necessário que exista cobertura de 5G no território, principalmente nas estradas. De acordo com a (ANATEL, 2024), em 6 de julho de 2023, 184 municípios brasileiros incluindo todas as capitais possuíam o serviço de 5G. Até 2029, todas as cidades com mais de 30 mil habitantes devem ter cobertura de sinal 5G, segundo o (ANATEL, 2021), e mais antenas devem ser instaladas para aumentar a cobertura e qualidade do sinal nas cidades que já possuem 5G.

Além disso, é necessário que os veículos possuam as ECUs embarcadas que possibilitam a comunicação V2X. Em 2021, de acordo com relatório de frota circulante divulgado pelo (SINDIPEÇAS, 2022), a idade média da frota de automóveis brasileiros é de 10 anos e 5 meses, o que indica que boa parte dos veículos não está equipado para comunicação 5G, que começou a ser implementada no Brasil em 2022.

No

Gráfico 1, observa-se a idade média dos automóveis brasileiros a cada ano, e a idade dos veículos é caracterizada em quatro faixas de idade, sendo de 0 a 3 anos, 4 a 10 anos, 11 a 20 anos e mais de 20 anos. Dentro de cada coluna, há números em milhões de carros com a idade da legenda. Assim, nota-se a queda na quantidade de veículos novos de 2014 a 2021, representados pela cor cinza. Isso indica um fator crítico para a implementação do 5G-V2X no Brasil, visto que uma frota antiga não estará apta a essa comunicação.

Gráfico 1 – Idade média dos automóveis brasileiros



Fonte: (SINDIPEÇAS, 2022).

Diante dos benefícios potenciais da tecnologia 5G-V2X, como redução de acidentes e melhoria do tráfego de veículos, assim como as limitações identificadas, como a idade avançada da frota brasileira e a cobertura de 5G no Brasil, é essencial analisar de forma detalhada e contextualizada na região metropolitana de Belo Horizonte. Para isso, a metodologia aplicada envolve avaliação da infraestrutura de telecomunicações existente, casos de aplicação do 5G-V2X e relatórios de trânsito divulgados.

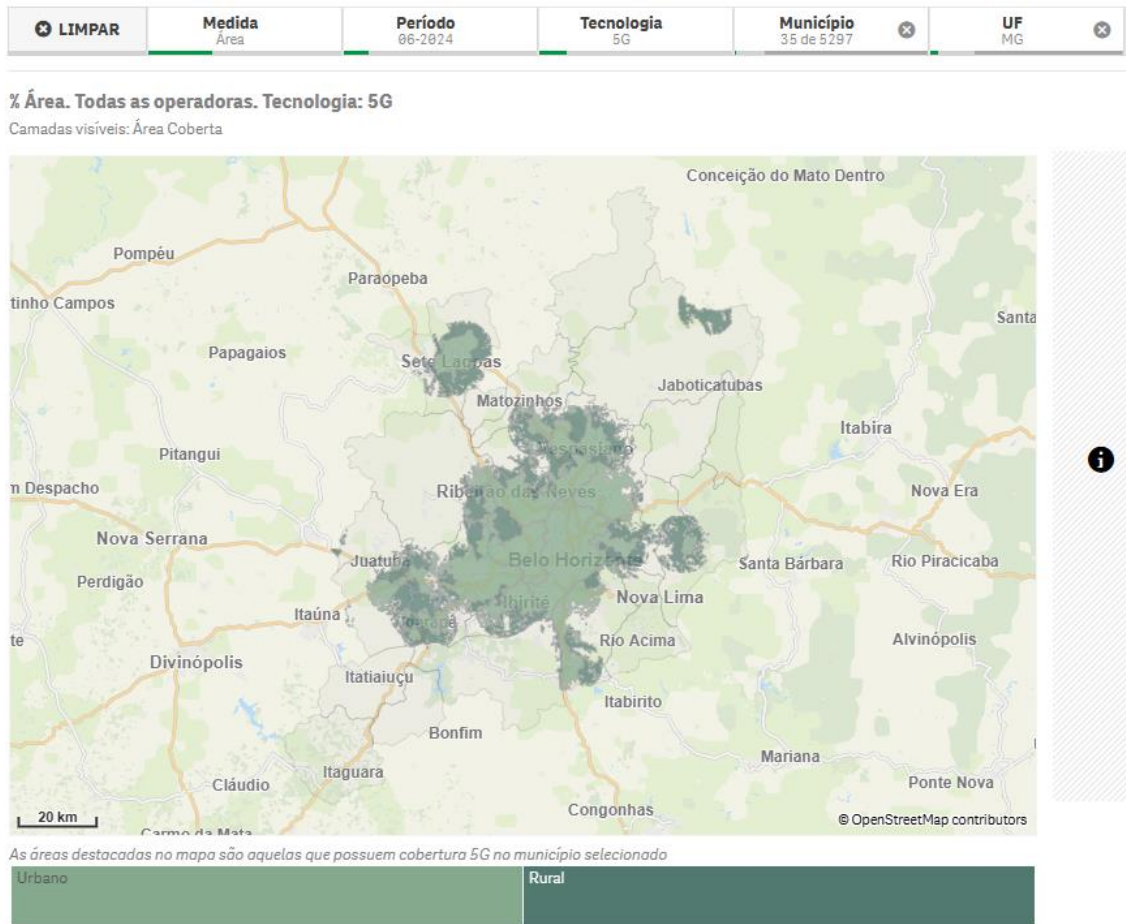
3 METODOLOGIA

O estudo realizado se iniciou com pesquisa de artigos acadêmicos sobre a tecnologia V2X, estudos sobre a aplicação e seus benefícios estimados, exemplos de casos de sucesso, relatórios sobre trânsito no Brasil e no estado de Minas Gerais, além de limitações como cibersegurança, soluções *aftermarket* de conectividade e cobertura do sinal 5G, a fim de construir um estado de arte sobre o assunto.

Para realizar a avaliação de cobertura de sinal 5G, o site da Anatel foi a principal fonte de informação. No site da Anatel, há painéis de dados com informações sobre cobertura de sinal 5G, exibindo diferentes informações, como cobertura por área ou por moradores, localização das antenas e quantidade de medidas feitas por região.

Dois principais painéis de dados foram utilizados para o desenvolvimento do estudo, sendo o primeiro o painel de infraestrutura e o segundo o painel de outorga e licenciamento de Estação de Rádio Base e de Estações Móveis de Telefonia Móvel (ou Serviço Móvel Pessoal – SMP). Na Figura 3, vê-se os filtros selecionados no painel de dados de infraestrutura da Anatel. Através dos filtros do painel de dados, é possível selecionar a unidade de medida, podendo ser a porcentagem de moradores cobertos, porcentagem de domicílios cobertos ou a área coberta. Como este estudo busca analisar a cobertura de 5G nas estradas, a medida mais adequada é a cobertura por área. Para selecionar o período, foi escolhido o mais recente, de 06-2024, e os municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte foram selecionados para visualização.

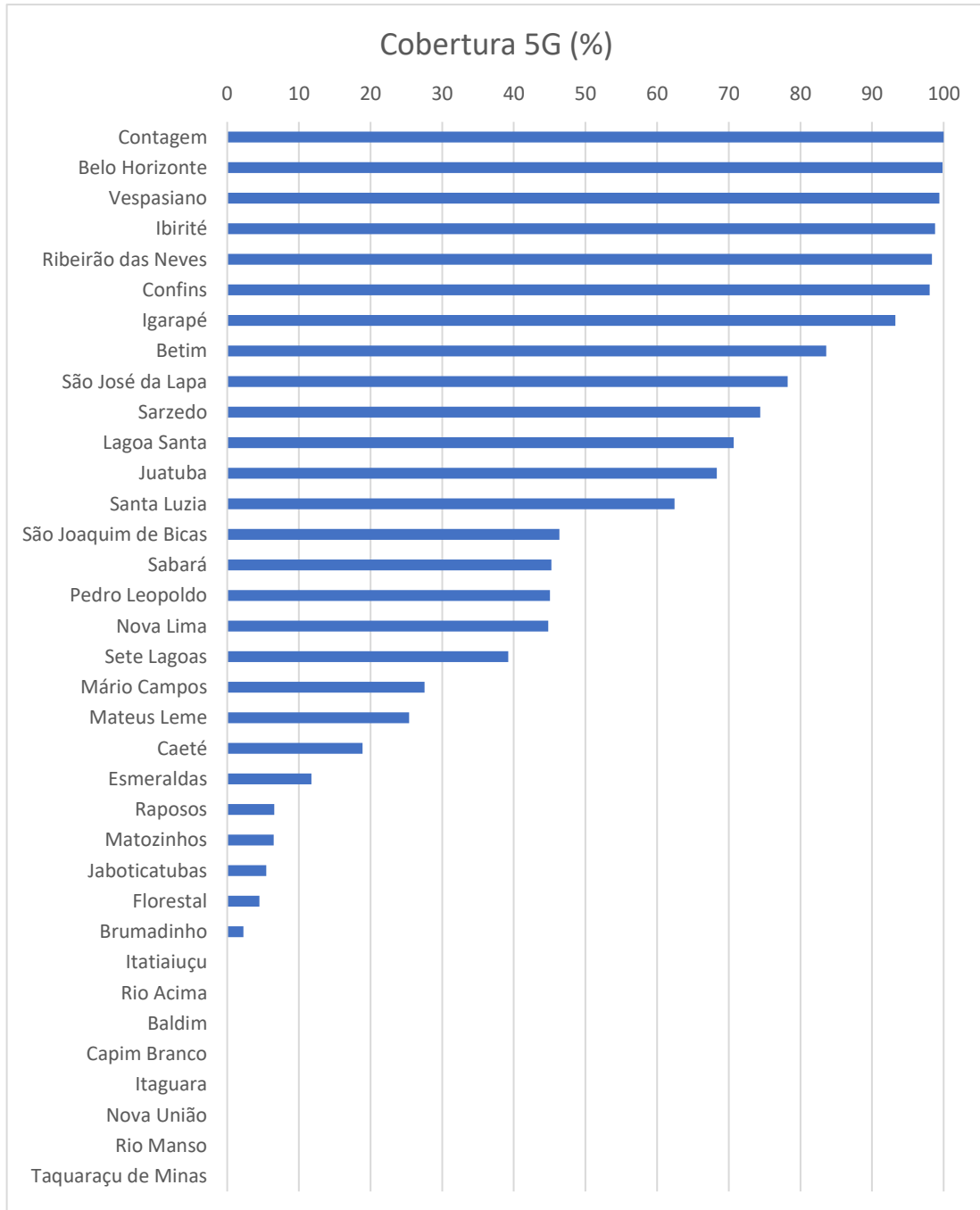
Figura 3 – Cobertura de sinal 5G na Região Metropolitana de Belo Horizonte



Fonte: (ANATEL, 2024).

A Anatel possibilita exportação de dados para gerar gráficos, como o Gráfico 2, que apresenta o percentual de cobertura 5G por área em cada cidade da RMBH em ordem crescente. Através do Gráfico 2, nota-se que apenas 13 das 35 cidades da RMBH possuem mais de 60% de cobertura 5G, e outras 13 cidades possuem menos de 20% de cobertura 5G.

Gráfico 2 – Percentual de cobertura 5G em cada cidade da RMBH



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Para reduzir o perímetro de cobertura a ser analisado, foi escolhida a cidade de Betim como representação da RMBH. Betim é a terceira cidade mais populosa da RMBH, atrás apenas de Belo Horizonte e Contagem. Ainda assim, Betim é a 8ª cidade com maior cobertura 5G, portanto, espera-se que seja uma boa representação dos desafios da região para a utilização da tecnologia 5G-V2X. Além

disso, Betim possui uma das maiores plantas do grupo Stellantis, com grande trânsito de veículos na BR-381 todos os dias.

Com a aplicação dos métodos descritos acima, foi possível obter dados significativos que serão apresentados e analisados na próxima seção. A seguir, discutiremos os resultados obtidos, destacando os benefícios e limitações da tecnologia 5G-V2X e aplicação na RMBH.

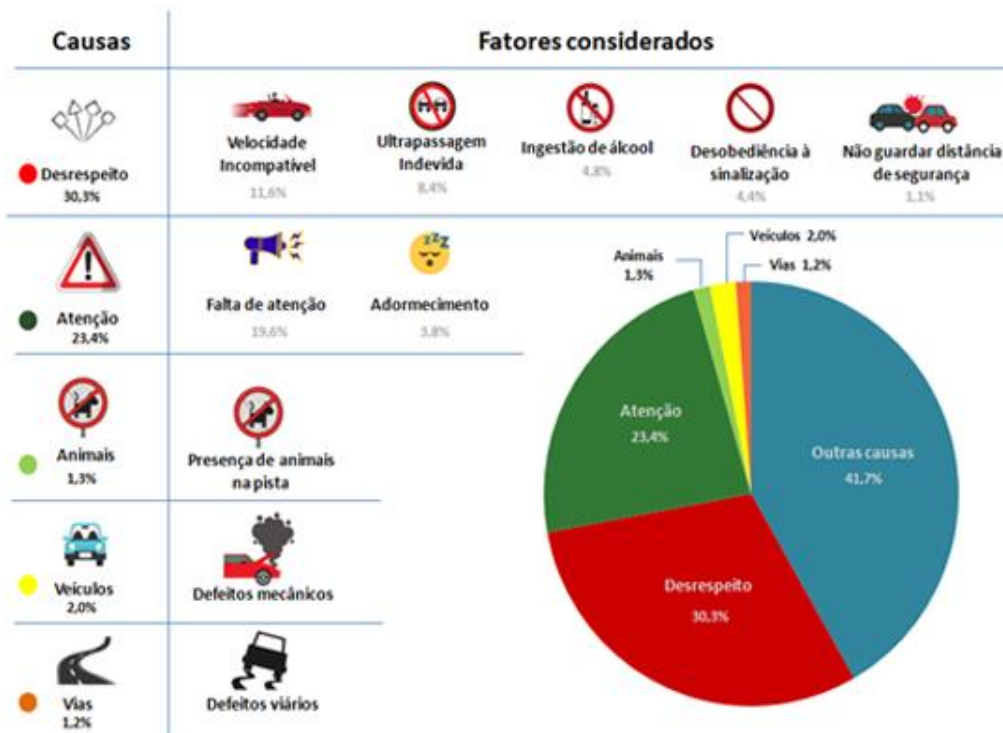
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.7 Cenário brasileiro de acidentes de trânsito

De acordo com um estudo realizado pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação sobre segurança nas rodovias federais, 53,7% dos acidentes com vítimas fatais são causados pela negligência ou imprudência dos motoristas (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2018). A pesquisa utilizou dados de óbitos registrados entre 2007 e 2016, e constatou que 30% dos casos foram causados pelo desrespeito às leis de trânsito e sinalização, o que corresponde a mais de 23 mil mortos.

No Gráfico 3, se vê um detalhamento do desrespeito como causa de acidentes, sendo a velocidade incompatível, ultrapassagem indevida, desobediência à sinalização e não respeitar distância de segurança como principais fatores. Já em falta de atenção, o adormecimento e a distração são os dois itens citados.

Gráfico 3 – Causas de acidentes de trânsito com óbito no Brasil



Fonte: (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2018).

Para os principais fatores que causaram acidentes com óbitos no Brasil, o 5G-V2X seria uma ferramenta para reduzir ou até acabar com alguns desses fatores.

Nas próximas seções, serão apresentados benefícios da tecnologia V2X para reduzir acidentes e as principais limitações na aplicação na RMBH.

1.8 Benefícios da tecnologia V2X para reduzir acidentes

Para exemplificar os benefícios da tecnologia 5G-V2X na redução de acidentes, foram identificados casos de sucesso e aplicações atuais. Devido à escassez de aplicação no Brasil, foram buscados resultados em outros países.

Um exemplo de benefício da aplicação da comunicação V2X é o programa o *Connected Vehicle (CV) Pilot Deployment Plan* for lançado pelo U.S. DOT (*United States Department of Transportation*, em tradução livre, Departamento de Trânsito dos Estados Unidos). Lançado em setembro de 2015, o programa tem o objetivo de incentivar a inovação nos veículos conectados usando as melhores tecnologias disponíveis e aplicar em cenários reais para mensurar os benefícios existentes (USDOT, 2021). No início do programa foram selecionadas três cidades estadunidenses, sendo Nova Iorque, Tampa e o corredor I-80 em Wyoming.

Em 30 de outubro de 2018, foi realizado uma demonstração pelo WYDOT (*Wyoming Department of Transportation*, em tradução livre, Departamento de Transporte do Wyoming) para a imprensa, membros da associação de caminhoneiros do Wyoming e representantes da USDOT (USDOT, 2018). Os participantes foram convidados a uma demonstração na estrada de algumas aplicações. As aplicações demonstradas foram *Forward Collision Warning* (Aviso de Colisão Frontal, em tradução livre), *Distress Notification* (Notificação de Socorro, em tradução livre) e *Infrastructure to Vehicle (I2V) Situation Awareness* (Conscientização de Situação Infraestrutura para Veículo, em tradução livre). Na Figura 4, há uma imagem da demonstração realizada, onde se vê no painel do veículo uma tela mostrando o veículo e a interseção que está à frente do veículo que foi tirada a foto.

Figura 4 – Demonstração do programa *CV Pilot Deployment Plan* em Wyoming.



Fonte: (USDOT, 2018).

A aplicação *Forward Collision Warning* utiliza comunicação V2V, e dependendo da situação, o motorista recebe um alerta de um risco de acidente com outro CV. Essa aplicação minimiza riscos de acidentes de colisão traseira, principalmente pela rodovia I-80 possuir condições de baixa visibilidade, além de situação na qual veículos que removem neve da estrada se moverem mais devagar que o trânsito.

Já a aplicação *Distress Notification* utiliza V2V e V2I para avisar motoristas de um veículo com defeito. Com a comunicação V2V, o veículo transmite a mensagem para os demais que está com defeito, e os demais retransmitem a mensagem. Com a comunicação V2I, o veículo transmite a mensagem para a RSU (*road side unit*, em tradução livre, unidade de beira de estrada), que alerta serviços de emergência para prestar suporte ao veículo e informa aos veículos mais distantes sobre a localização do veículo defeituoso.

A aplicação *I2V Situational Awareness* compila informações durante a viagem, como alertas de clima e limite de velocidade, e exibe para o motorista em tempo real. A localização do veículo é utilizada para atualizar as informações, como

trechos com diferentes limites de velocidade, já que a I-80 possui quase 650 km de extensão.

Enquanto isso, o programa *CV Pilot Deployment* em Tampa teve resultados satisfatórios e mensuráveis (USDOT, 2021). O cenário alvo no desenvolvimento foi detectar e alertar motoristas sobre um ponto de entrada em uma via expressa o qual motoristas frequentemente entravam na contramão. Ao tentar realizar a conversão, um alerta é exibido no retrovisor, vide Figura 5.

Figura 5 – Alerta para conversão incorreta no retrovisor.



Fonte: (USDOT, 2021).

Outro caso de uso do V2X em Tampa foi a redução de colisões entre veículos e os bondes elétricos que circulam no centro da cidade. Os bondes e os carros conectados foram equipados com multimídias e computadores de bordo, e a aplicação desenvolvida foi para emitir um alerta ao operador do bonde elétrico quando um veículo em um cruzamento entra a sua direita na via. A aplicação também funciona para o motorista do veículo conectado, ao fazer a conversão na frente do bonde elétrico. Na Figura 6, se vê o sistema instalado dentro do bonde elétrico e na parte superior à direita, está a tela mostrando o alerta de colisão.

Figura 6 – Bonde elétrico em Tampa com sistema de comunicação V2X



Fonte: (USDOT, 2021).

Segundo o (USDOT, 2021), durante os 18 meses de coleta de dados, entre março de 2019 e setembro de 2020, foram emitidos 14 alertas de entrada incorreta na via expressa, nove alertas de colisão entre bonde elétrico e veículo e emitiu mais de 1500 alertas de excesso de velocidade para os condutores na via expressa.

Com o programa *CV Pilot*, se tem exemplificação de aplicação do V2X que reduzem riscos de acidentes como demonstrado em Wyoming, e evidências de redução de potenciais acidentes através da emissão de alertas aos motoristas, como feito em Tampa. A tecnologia V2X, mesmo sem ser aliada aos níveis mais elevados de automação, se mostra efetiva na redução de acidentes e proteção dos motoristas, passageiros e pedestres.

Em dezembro de 2017, a 5GAA divulgou um estudo realizado por duas empresas de consultoria da área automotiva, a SBD Automotive e Analysys Mason. Nesse estudo, foi realizado uma categorização de 17 serviços que teriam maior impacto socioeconômico, e foram classificados entre serviços de informação, alerta e atuação.

De acordo com (DUNOYER, KILLEEN, *et al.*, 2017), os serviços e as aplicações se dividem da seguinte forma:

- **Informação:** informam o motorista sobre as condições do trânsito, do veículo e demais condições, mas não alertam sobre perigo iminente como uma colisão. Seriam os serviços de informação de limite de velocidade, informações do veículo, solicitação de prioridade de tráfego para veículos designados, como ambulâncias e viaturas, entre outros.
- **Alerta:** fornecem informação sobre risco potencial imediato, como colisões. Alguns exemplos dos serviços de alerta seriam alerta de não ultrapassar, alerta de acidente a frente, alerta de veículo parado a frente, alerta de localidade perigosa.
- **Atuação:** são focados em carros autônomos, como frenagem automática.

O impacto unitário foi calculado considerando veículos de passeio com conectividade embarcada de fábrica, e foi considerado uma penetração de 100% do mercado com veículos aplicando V2X. Na Tabela 2, se observa que o maior impacto é na segurança. Outro ponto importante é o aumento da segurança com a inclusão dos serviços de atuação, pois para os cenários de vias urbanas e rurais, o aumento é de 2 e 3%. Isso mostra que a tecnologia V2X pode ser implementada mesmo que sem alto nível de automação nos veículos e já existiriam benefícios significativos.

Tabela 2 – Impacto unitário máximo das aplicações V2X.

Serviço V2X	Categoria do impacto								
	Segurança			Consumo de combustível / Emissões de CO2			Eficiência de tráfego		
	Urbano	Rural	Rodovia	Urbano	Rural	Rodovia	Urbano	Rural	Rodovia
Informação	14%	16%	14%	1%	4%	2%	4%	4%	-1%
Alerta	17%	23%	18%	0%	0%	0%	2%	2%	2%
Alerta + informação	31%	39%	33%	1%	4%	2%	6%	6%	1%
Alerta + informação + atuação	33%	42%	36%	1%	4%	5%	6%	6%	4%

Fonte: Adaptado de (DUNOYER, KILLEEN, *et al.*, 2017).

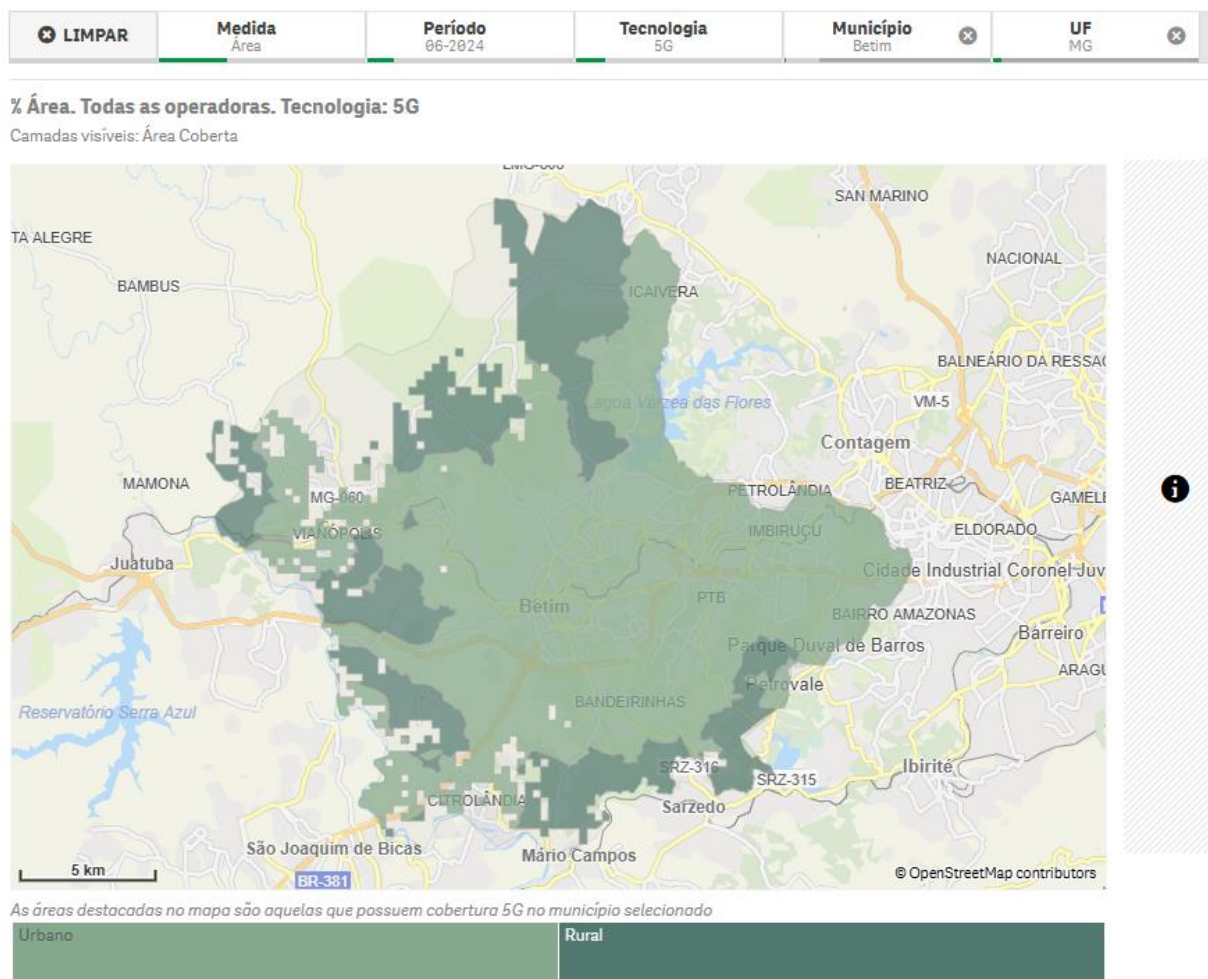
1.9 Principais limitações da aplicação do 5G-V2X

A tecnologia 5G-V2X tem diversos desafios, que vão desde a idade da frota de veículos brasileira, infraestrutura do país, cibersegurança e adoção da tecnologia

por parte da população. Primeiramente, será discutido sobre a infraestrutura de rede 5G para viabilizar o 5G-V2X.

Para iniciar a análise de cobertura de sinal 5G na cidade de Betim, foi utilizado o painel de infraestrutura da Anatel. Como medida, foi utilizada a área de cobertura, o período mais recente, de 06-2024, além de selecionar a tecnologia 5G e o município Betim. Na Figura 7, se observa que a cidade possui boa parte de sua área com cobertura 5G, correspondendo ao total de 83,62% de cobertura. As principais rodovias são sinalizadas por laranja, por baixo da cobertura de 5G na cor verde, e mostram que existe sinal 5G nas localidades.

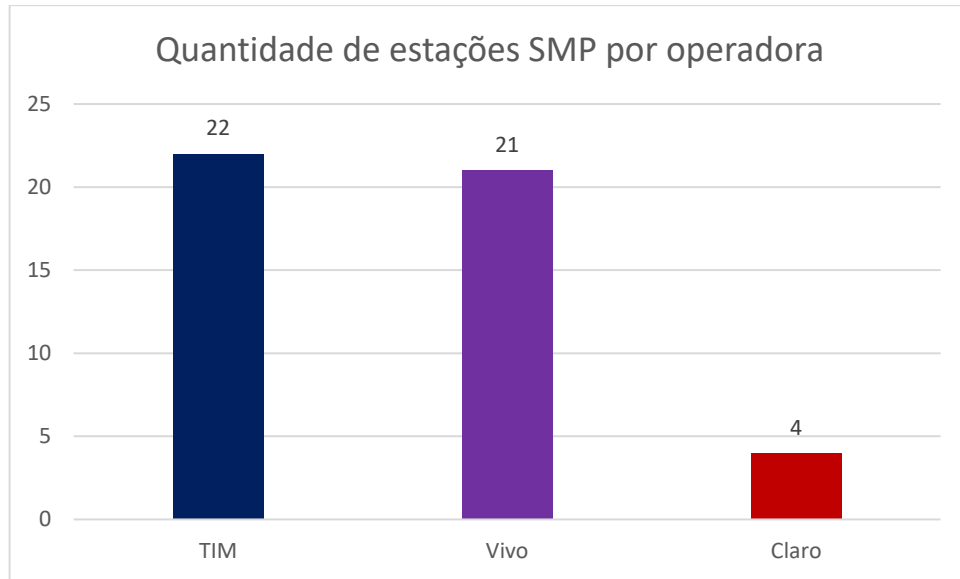
Figura 7 – Cobertura de sinal 5G em Betim



Fonte: (ANATEL, 2024).

Ao manter os filtros da Figura 7 e diminuir a escala do mapa, se observa regiões sem cobertura 5G na BR-381 na Figura 8, uma das principais rodovias nacionais e com alto fluxo de veículos.

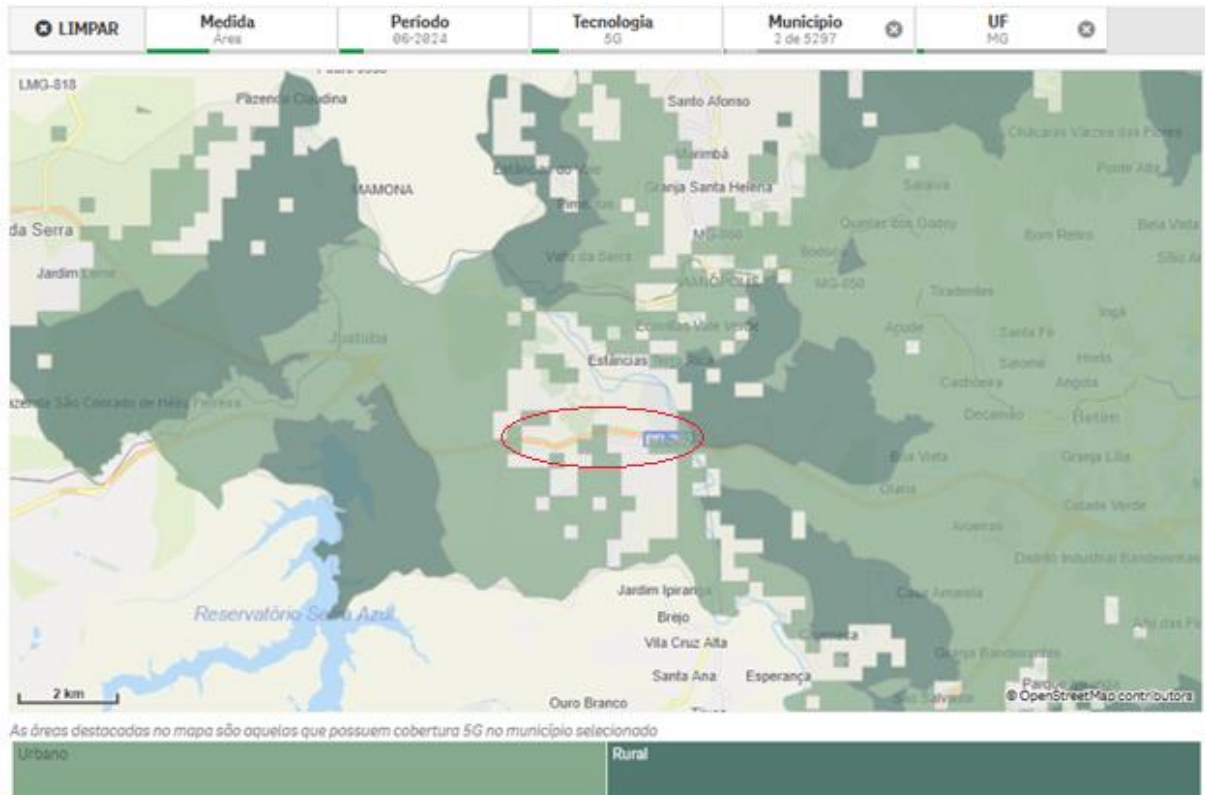
Gráfico 4 – Estações SMP em Betim e suas operadoras.



Fonte: elaborado pela autora, 2024.

Já a oeste de Betim, na BR-262, que conecta a cidade à Juatuba, há uma escassez de estações SMP de todas as operadoras, que indica uma provável região sem cobertura 5G ou ainda com sinal instável. Na Figura 10, é possível comprovar a falta de cobertura em um trecho da BR-262, entre Betim e Juatuba.

Figura 10 – Região de falta de cobertura 5G na BR-262 entre Betim e Juatuba.

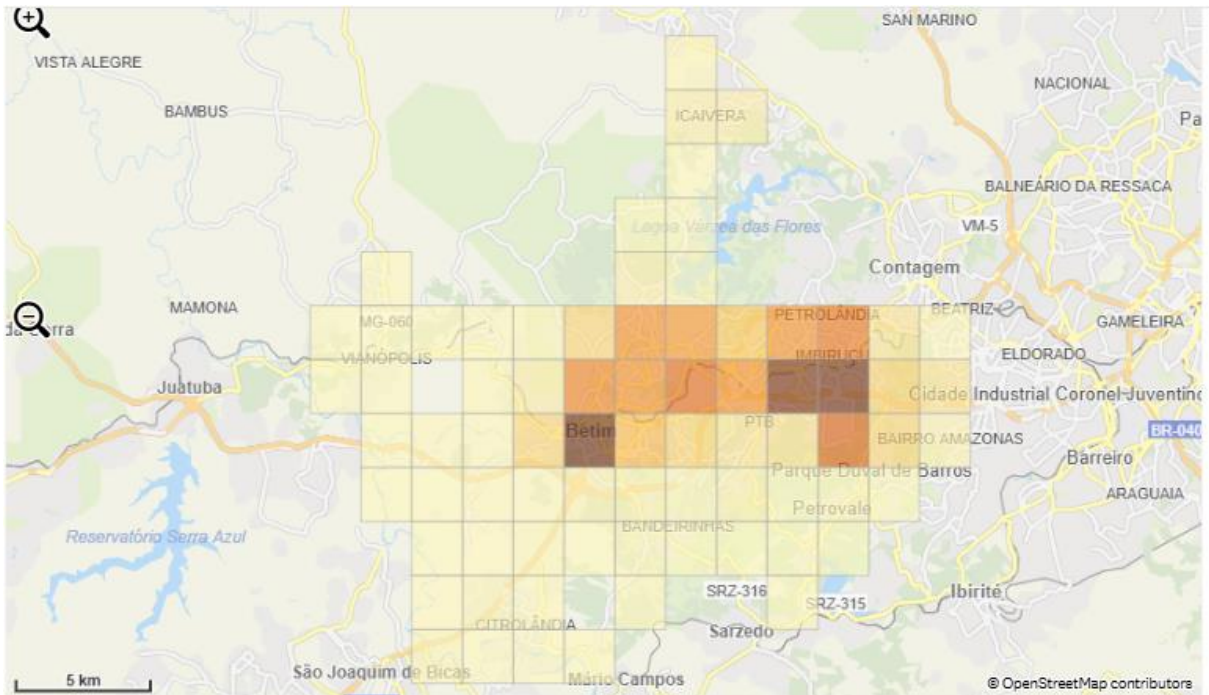


Fonte: (ANATEL, 2024).

Dessa forma, se percebe uma necessidade de aumento na infraestrutura de cobertura 5G na cidade de Betim. De acordo com o cronograma do Leilão do 5G, (ANATEL, 2021), até 31/07/2026, todos os municípios com população igual ou superior a 200 mil habitantes devem possuir, no mínimo, 1 antena para cada 15 mil habitantes, o que já está sendo cumprido na cidade de Betim. No entanto, através dos dados da Anatel, ainda há necessidade de ampliar a cobertura de 5G na cidade, diversificando as operadoras de telefonia móvel presentes e instalando mais estações.

Outro fator importante a ser considerado é a confiabilidade do dado disponível no site da Anatel. Ao consultar o painel de medidas de velocidade de telefonia móvel e obter a Figura 11, as regiões em laranja médio até a cor marrom possuem um alto índice de medições, enquanto boa parte da cidade está com um baixo índice de medições representado pela cor amarelo claro. Boa parte das regiões de estradas importantes possuem menos de 150 medições realizadas, o que pode prejudicar a confiabilidade da cobertura apresentada na Figura 7, por exemplo.

Figura 11 – Medições de velocidade realizadas em Betim.



Fonte: (ANATEL, 2024).

Ainda sobre infraestrutura, é importante mencionar sobre a infraestrutura necessária nas rodovias. Em um país continental como o Brasil, Minas Gerais possui a maior malha rodoviária, com 272.062,90 km de rodovias, incluindo rodovias federais, estaduais e municipais (GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2024). Como citado anteriormente, para a comunicação V2I, é necessário que existam RSU para comunicação com o veículo. Em aplicações fora do Brasil, como no *CV Pilot Program* em Wyoming, foram gastos 574 mil dólares pelo Wyoming DOT, que é um órgão governamental, para implementar a infraestrutura nos 650 km de extensão da rodovia. Esse alto investimento pode ser um desafio a nível nacional, devido a enorme extensão da malha rodoviária brasileira.

Outro aspecto importante é o veículo possuir a tecnologia para comunicação V2X embarcada. Algumas tecnologias demoram a ser introduzidas no mercado brasileiro, um exemplo é que o primeiro veículo com conectividade 5G foi lançado em 2020 na China, o GAG AION V (CESAR, 2020). Quatro anos depois, o primeiro carro conectado 5G foi anunciado no mercado brasileiro, com o Chevrolet Equinox, em dezembro de 2024 (GENERAL MOTORS, 2024).

No cenário brasileiro, a idade da frota pode ser um desafio significativo. Como se vê no Gráfico 1, a idade média da frota é de 11 anos, e o comportamento é de envelhecimento da frota, com os veículos de 0 a 3 anos diminuindo nos últimos anos. No momento, não há solução *aftermarket* de nenhuma montadora para instalar conectividade em veículos brasileiros. Em 2018, a Ford lançou uma iniciativa nos Estados Unidos chamada *FordPass Smartlink*, na qual ao conectar o dispositivo na porta OBD fornecia serviços de Wi-Fi *hotspot*, saúde do veículo e alertas de localização (FORD MOTOR COMPANY, 2018). No entanto, o serviço foi descontinuado em 15 de dezembro de 2019, devido ao baixo interesse dos clientes em adquirir (FORD MOTOR COMPANY, 2019).

Além disso, a solução da Ford também não cobria cenários de conectividade mais complexos, no qual existe comunicação entre a central e as demais ECUs embarcadas. Para a comunicação 5G-V2X e funções mais complexas, como frenagem automática, é necessário que as demais centrais eletrônicas se comuniquem com a central.

Outro desafio para a utilização do 5G-V2X é o risco de ataques cibernéticos. Segundo (GUAN, 2022), em 2015, cerca de 1,4 milhão de veículos estiveram em um recall da Chrysler porque um jipe foi hackeado pela Internet e os hackers conseguiram desabilitar os freios do veículo em baixa velocidade. Ao enviar mensagens mais elaboradas pela rede CAN, os hackers ainda conseguiram acelerar e frear bruscamente e até mesmo virar o volante do veículo em qualquer velocidade. Além de ser um risco para a aplicação em si, esses ataques cibernéticos podem prejudicar a adesão do consumidor a tecnologia V2X.

5 CONCLUSÃO

O trabalho teve como principal objetivo analisar a aplicação da tecnologia 5G-V2X na região metropolitana de Belo Horizonte, mapear os principais benefícios e principais desafios em sua implementação. O principal benefício discutido é a redução de acidentes de trânsito, principalmente acidentes causados por falta de atenção dos condutores e imprudência no trânsito.

Outros benefícios consequentes da aplicação do 5G-V2X seriam a redução de congestionamentos, diminuição das emissões de CO₂ e, com níveis mais elevados de automação veicular, o condutor pode tirar totalmente as mãos do volante e apenas assumir caso seja necessário tomada de decisão, ou até mesmo não ter a presença de um condutor no cenário de mais alta automação.

Porém, os desafios da implementação do 5G-V2X são proporcionais aos seus benefícios. Um deles é a cobertura de sinal 5G na região, que ainda é muito defasada principalmente ao se afastar ainda que pouco dos centros urbanos. Isso pode ser exemplificado com a análise de porcentagem de cobertura de sinal em toda a RMBH, além de ser realizada uma análise mais detalhada na cidade de Betim, evidenciando os pontos de desconexão ao longo de rodovias.

Outros desafios observados foram a falta de infraestrutura das rodovias, que é necessário a instalação das RSUs para a integração da gestão de tráfego com os veículos. Nos EUA, no programa desenvolvido na I-80 em Wyoming, o Departamento de Trânsito do estado foi o maior investidor na instalação da infraestrutura. Isso pode ser um grande desafio, considerando que apenas o estado de Minas Gerais possui 16% das rodovias do país.

Outro fator importante é que o veículo deve ter capacidade para comunicação 5G-V2X, sendo necessário um módulo de telemetria e os demais componentes devem se comunicar com ele. Como a frota brasileira tem uma idade média elevada, de aproximadamente 11 anos, uma estratégia possível é desenvolver componentes *aftermarket* para habilitar conectividade veicular, ainda que seja para funções básicas como alertas. Outra possibilidade seria incentivo governamental para impulsionar a venda de carros novos e com a tecnologia.

O desejo do consumidor de adquirir e utilizar a tecnologia 5G-V2X também é importante. Riscos de ataques cibernéticos e segurança de dados são

preocupações dos usuários, que podem optar por comprar um carro sem conectividade, ou não renovar o serviço quando o período de teste acabar.

No entanto, os benefícios do 5G-V2X são cruciais para a sociedade, diminuindo as vidas que são perdidas todos os anos no trânsito, melhorando o tráfego e otimizando o tempo das pessoas e reduzindo as emissões de CO₂ na atmosfera. Seu desenvolvimento e aplicação será de extrema relevância não apenas para a RMBH, mas para todo o planeta.

REFERÊNCIAS

5GAA. 5GAA P-190033 V2X Functional and Performance Test Report. **5G Automotive Association (5GAA)**, 2018. ISSN P-190033. Disponível em: <https://5gaa.org/content/uploads/2018/11/5GAA_P-190033_V2X-Functional-and-Performance-Test-Report_final-1.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2024.

5GAA. C-V2X explained. **5GAA (5G Automotive Association)**, 14 Setembro 2024. Disponível em: <<https://5gaa.org/c-v2x-explained>>. Acesso em: 14 set. 2024.

ANATEL. Anatel publica edital do leilão do 5G. **Anatel**, 21 Setembro 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-publica-edital-do-leilao-do-5g>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

ANATEL. 5G completa um ano de implantação no Brasil. **Anatel**, 2 Outubro 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/5g-completa-um-ano-de-implantacao-no-brasil>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ANATEL. Estações de SMP. **Anatel**, 10 Novembro 2024. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/outorga-e-licenciamento/estacoes-do-smp>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ANATEL. Medidas de Velocidade - Telefonia Móvel. **Anatel**, 15 Novembro 2024. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/qualidade/medidas-de-velocidade-telefonia-movel>>. Acesso em: 15 dez. 2024.

ANATEL. Painéis de Infraestrutura. **Anatel**, 10 Novembro 2024. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura>>. Acesso em: 9 nov. 2024.

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO (ASCOM). 47% dos acidentes de trânsito são causados por desatenção em Minas. **Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública de Minas Gerais**, 30 Setembro 2024. Disponível em: <<https://www.seguranca.mg.gov.br/index.php/noticias/47-dos-acidentes-de-transito-sao-causados-por-desatencao-em-minas>>. Acesso em: 29 dez. 2024.

CESAR, J. Primeiro carro com tecnologia 5G no mundo é um belo SUV elétrico chinês. **InsideEVs Brasil**, 21 Junho 2020. Disponível em: <CESAR, Julio. Primeiro carro com tecnologia 5G no mundo é um belo SUV elétrico chinês. InsideEVs Brasil, 21 jun. 2020. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/429731/suv-eletrico-tecnologia-5g-china/>. Acesso em: 23 dez. 2024.>. Acesso em: 23 dez. 2024.

DINIZ, A.; REZENDE, G. BH se iguala a SP em minutos 'perdidos' no trânsito. **O Tempo**, 2024. Disponível em: <<https://www.otempo.com.br/cidades/2024/8/7/bh-se-igual-a-sp-em-minutos--perdidos--no-transito--horario-de->>. Acesso em: 5 fev. 2025.

DUNOYER, A. et al. **Socio-economic benefits of cellular V2X**. Analysys Mason; SBD Automotive. Londres. 2017. (Ref: 2011027-492).

DUTRA, F. D. S.; MENEGUETTE, R. I.; PEREIRA JR., L. A. Tecnologias habilitadoras para pesquisas em 5G-V2X. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)**, São José dos Campos, 29 set. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/directbitstream/087f83d5-8cf5-4f43-a7ae-5b76cefc598/3073613.pdf>>.

FARNELL. Transforming Mobility: The Architecture and Solutions of V2X Communication in Electric Vehicles. **Farnell**, 30 Dezembro 2024. Disponível em: <<https://pt.farnell.com/transforming-mobility-the-architecture-and-solutions-of-v2x-communication-in-electric-vehicles-trc-ar>>. Acesso em: 30 nov. 2024.

FORD MOTOR COMPANY. Upgrade Connected Features on Your Older-Model Ford with New FordPass SmartLink™, Available Nationwide Mid-2018. **Ford Media Center**, 21 Março 2018. Disponível em: <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2018/03/21/upgrade-connected-features-on-your-older-model-ford-with-new-for.html#>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

FORD MOTOR COMPANY. Why was SmartLink Discontinued for FordPass. **Ford Motor Company**, 2019. Disponível em: <<https://es.ford.com/support/how->

tos/fordpass/fordpass-supported-features/why-was-smartlink-discontinued-for-fordpass/>. Acesso em: 23 dez. 2024.

GENERAL MOTORS. Chevrolet lança nova versão do OnStar com funcionalidades avançadas. **media.gm**, 14 Novembro 2024. Disponível em: <<https://media.gm.com/media/br/pt/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/br/pt/2024/nov/1114-onstar.html>>. Acesso em: 9 dez. 2024.

GOVERNO DE MINAS GERAIS. Rodovias. **Portal MG**, 2024. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/pagina/rodovias>>. Acesso em: 26 dez. 2024.

GUAN, T. E. A. An overview of vehicular cybersecurity for intelligent connected vehicles. **Sustainability**, 26 abr. 2022. 5211.

HASHISAKA JUNIOR, C.; PATAH, L. A. Mobilidade Urbana Inteligente: Um Conceito em Formação. **SINGEP - Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**, São Paulo, SP, 22-23 out. 2018. 1-16.

LIU, Z. et al. Autonomous driving under V2X environment: state-of-the-art survey and challenges. **Intelligent Transportation Infrastructure**, Oxford, 28 nov. 2022. 1-10.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Estudo aponta que mais de 50% dos acidentes de trânsito são causados por falhas humanas. **Gov.br**, 25 Setembro 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/estudo-aponta-que-mais-de-50-dos-acidentes-de-transito-sao-causados-por-falhas-humanas765>>. Acesso em: 16 dez. 2024.

OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA DE MINAS GERAIS. Painel de Acidente de Trânsito, 27 Dezembro 2024. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzUwZTdhNTEtM2Y1Yi00ZDA5LTgxYmYtN2U2NTgyMDRkYzAzliwidCI6ImU1ZDNhZTdjLTliMzgtNDhkZS1hMDg3LWY2NzM0YTl4NzU3NCJ9>>. Acesso em: 30 Dezembro 2024.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. Modelo Preditivo de Óbitos no Trânsito Brasileiro. **Observatório Nacional de Segurança Viária**, 22 Abril 2024.

Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/pdi/dados/modelo-preditivo-de-obitos-no-transito-brasileiro>>. Acesso em: 30 dez. 2024.

SINDIPEÇAS. Relatório da Frota Circulante - Edição 2022. **Sindipeças**, Março 2022. Disponível em: <https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2022/RelatorioFrotaCirculante_2022.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

USDOT. WYDOT Connected Vehicle Pilot showcases safety technology. **Intelligent Transportation Systems Joint Program Office**, 30 Outubro 2018. Disponível em: <https://www.its.dot.gov/pilots/wydot_safety_tech.htm>. Acesso em: 16 dez. 2024.

USDOT. Connected Vehicle Pilot Deployment Program. **Intelligent Transportation Systems Joint Program Office**, 29 Julho 2021. Disponível em: <<https://www.its.dot.gov/pilots/overview.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2024.

USDOT. ITS Deployment Evaluation. **ITS Knowledge Resources**, 31 Março 2021. Disponível em: <<https://www.itskrs.its.dot.gov/2021-b01550>>. Acesso em: 20 dez. 2024.