

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
ESPECIALIZAÇÃO MBA EM GESTÃO DE SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES**

**FRANCISCO OTAVIO COELHO STURM ANTUNES**

**REDES VEICULARES: UM ESTUDO DAS TECNOLOGIAS  
EMERGENTES NA EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2018**

**FRANCISCO OTAVIO COELHO STURM ANTUNES**

**REDES VEICULARES: UM ESTUDO DAS TECNOLOGIAS  
EMERGENTES NA EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista MBA em Gestão de Serviços de Telecomunicações, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Adriano Fávaro

**CURITIBA**

**2018**



## TERMO DE APROVAÇÃO

Redes Veiculares: um Estudo das Tecnologias Emergentes na Evolução do Sistema de Transporte Rodoviário

Por

**Francisco Otavio Coelho Sturm Antunes**

Esta monografia foi apresentada às 17h do dia **22/11/2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO MBA EM GESTÃO DE SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Câmpus Curitiba**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

<b>1</b>	Aprovado
<b>2</b>	Aprovado condicionado às correções Pós-banca, postagem da tarefa e liberação do Orientador.
<b>3</b>	Reprovado

---

**Prof. Msc. Alexandre Jorge Miziara**  
UTFPR – Examinador / Coordenador do Curso

---

**Prof. Msc. Adriano Fávaro**  
UTFPR – Orientador

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

## RESUMO

ANTUNES, Francisco Otavio Coelho Sturm. **REDES VEICULARES**: um estudo das tecnologias emergentes na evolução do sistema de transporte rodoviário. 2018. 48 folhas. Monografia (Especialização MBA em Gestão de Serviços de Telecomunicações) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O modal rodoviário se popularizou de maneira muito rápida no Brasil nas últimas décadas, principalmente devido ao aumento do poder aquisitivo do brasileiro e dos incentivos fiscais. São notáveis os benefícios desse meio de transporte na melhora da mobilidade urbana, conforto, praticidade e qualidade de vida das pessoas, contudo, com o passar dos anos, os malefícios foram superando os benefícios, e problemas como congestionamentos, poluição e insegurança foram se intensificando ao ponto de exigir mudanças. A busca por um sistema de transporte inteligente, voltado para eficiência, segurança e sustentabilidade fez surgir discussões sobre uma rede veicular que permitisse a comunicação entre seus principais agentes: veículos, infraestrutura e pedestres. No contexto dessa problemática, este trabalho faz o levantamento de dados estatísticos do sistema de transporte rodoviário no Brasil e sintetiza os principais conceitos relacionados às redes veiculares. Por fim, faz uma análise das tecnologias emergentes de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) e do setor automobilístico e a aplicabilidade delas na evolução do sistema de transporte rodoviário.

**Palavras-chave:** Sistema de Transporte Inteligente. Rede Veicular. TIC.

## ABSTRACT

ANTUNES, Francisco Otavio Coelho Sturm. **Vehicular Networks**: a study of emerging technologies in the evolution of the road transport system. 2018. 48 pages. Monograph (Especialization MBA in Telecommunication Services Management) - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2018.

Road transport got popular in a fast way in Brazil in the last decades, mainly due to the increase in the purchasing power of the Brazilian and the tax incentive. The benefits of the road transport in the improvement of the urban mobility, comfort, practicality and quality of life are remarkable, however, over the years, the harm has outweighed the benefits, and problems such as traffic jam, air pollution and insecurity have been intensifying, to the point of demanding changes. The search for an intelligent transport system, focused on efficiency, security and sustainability has led to discussions about a vehicular network that would allow communication between its main agents: vehicles, infrastructure and pedestrian. In the context of this problem, this work collects statistical data from the road transport system in the Brazil and synthesizes the main concepts related to the vehicular networks. Finally, it done an analysis of the emerging ICT technologies and the automotive sector and their applicability in the evolution of the road transport system.

**Keywords:** Intelligent Transport System. Vehicular Network. ICT

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arquitetura simplificada de uma VANET.....	27
Figura 2 - Padrão DSRC aplicado a segurança do trânsito.....	29
Figura 3 - Arquitetura em camadas da comunicação DSRC nos EUA.....	30
Figura 4 - IoV: Arquitetura de 7 camadas.....	33
Figura 5 - Cronograma <i>releases</i> 3GPP.....	35
Figura 6 - Níveis de automação veicular.....	38
Figura 7 - Evolução do CloV.....	39
Figura 8 - Roadmap da evolução dos carros autônomos.....	43
Figura 9 - Agentes do Sistema de Transporte Rodoviário.....	44
Gráfico 1 - Variação do PIB brasileiro e o setor de transportes.....	19
Gráfico 2 - Densidade de rodovias pavimentadas (em km / 1.000 km <sup>2</sup> ).....	20
Gráfico 3 - Qualidade do pavimento.....	20
Gráfico 4 - Causas versus gravidade dos acidentes registradas por agentes da PRF nas rodovias federais, Brasil - 2014.....	22
Quadro 1 - Custo de acidentes por gravidade, Brasil - 2016.....	21
Quadro 2 - Tecnologias automotivas.....	24

## LISTA DE SIGLAS

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AVB	Audio Video Bridging
CNT	Confederação Nacional de Transportes
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DSRC	Dedicated Short Range Communications
ECU	Electronic Control Unit
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
IUCLG	Imposto Único sobre Combustíveis Líquidos e Gasosos
ITS	Intelligent Transportation System
LVDS	Low-Voltage Differential Signaling
OBU	On-Board Unit
PLC	Power-line communication
PRF	Polícia Rodoviária Federal
QoS	Quality of Service
RSU	RoadSide Unit
TRU	Taxa Rodoviária Única
TTEthernet	Time-Triggered Ethernet
UTP	Unshielded twisted pair
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Everything
WHO	World Health Organization
WSMP	WAVE Short Message Protocol

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ARIB	Japanese Association of Radio Industries and Businesses
AUTOSAR	AUTomotive Open System ARchitecture
CAN	Controller Area Network
CONIT	Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LIN	Local Interconnect Network
MANET	Mobile Ad-Hoc Networks
MOST	Media Oriented Systems Transport
PIB	Produto Interno Bruto
SAE	Society of Automotive Engineers
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
VANET	Vehicular Ad-hocs Network
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4 METODOLOGIA.....	14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
<b>2 SISTEMA DE TRANSPORTE NO BRASIL.....</b>	<b>16</b>
2.1 SISTEMA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....	16
2.1.1 Órgãos competentes.....	17
2.1.2 Estatísticas do modal rodoviário.....	18
2.1.2.1 Extensão e Qualidade.....	19
2.1.2.2 Custo Operacional e Acidentes.....	21
<b>3 REDES VEICULARES.....</b>	<b>23</b>
3.1 REDES INTRA-VEICULARES.....	24
3.2 REDES INTER-VEICULARES.....	26
3.2.1 VANET.....	26
3.2.1.1 DSRC.....	28
<b>4 ARQUITETURAS E TECNOLOGIAS EMERGENTES.....</b>	<b>31</b>
4.1 <i>INTERNET OF VEHICLES</i> .....	31
4.2 5G.....	34
4.3 CARROS AUTÔNOMOS.....	36
<b>5 FUTURO DO SISTEMA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....</b>	<b>41</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
REFERÊNCIAS.....	47

## 1 INTRODUÇÃO

Um Sistema de Transporte representa um complexo conjunto de relações entre pessoas, veículos e infraestrutura, sendo o seu objetivo levar uma pessoa ou um bem de um ponto a outro. As diversas formas em que se dão essas relações, definem o quão eficiente é o Sistemas de Transporte de um país, refletindo diretamente no seu desenvolvimento econômico e na qualidade de vida da sua população.

O crescimento acelerado na utilização do modal rodoviário para deslocamento de cargas e pessoas ocorreu de forma intensa nas últimas décadas, entretanto, a sua evolução não acompanhou as inovações na área de tecnologia de informação e comunicação (TIC). Se por um lado as TICs revelaram sistemas computacionais cada vez mais robustos e inteligentes e tecnologias de comunicação mais seguras e com maior largura de banda, o desenvolvimento dos veículos foi muito lento e não soube se aproveitar dessa era de revoluções tecnológicas para aumentar a eficiência e a segurança no trânsito.

Recentemente a evolução das tecnologias de comunicação sem fio, motivadas pela popularização da Internet vão ao encontro da nova dinâmica de oferta e consumo de conteúdos e serviços. Carros já saem de fábrica com modernos sistemas de interatividade, que possibilitam conforto e segurança aos passageiros, contudo, sob uma perspectiva mais global do Sistema de Transporte, agem como sistemas autônomos em um ecossistema bastante vasto e pouco cooperativo.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A grande ineficiência no setor de transporte rodoviário, com o elevado número de acidentes, congestionamentos e emissão de gases poluentes, abre uma oportunidade para se repensar em um sistema de transporte mais moderno, que propicie maior conforto, segurança e eficiência. Paralelamente a isso tem-se um desenvolvimento tecnológico nunca visto antes, mas que até então não vem sendo totalmente explorado no setor de transporte.

Diante desse cenário se faz necessária uma análise profunda das tecnologias existentes e a aplicabilidade delas na evolução do atual sistema de transporte rodoviário.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar as tecnologias emergentes de TIC das redes veiculares e a sua aplicabilidade na evolução do sistema de transporte rodoviário.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o atual cenário do setor de transporte rodoviário no Brasil.
- Descrever os principais conceitos e as principais arquiteturas das redes veiculares.
- Descrever as arquiteturas e tecnologias emergentes e a sua aplicabilidade nas redes veiculares.
- Analisar a evolução do sistema de transporte rodoviário.

## 1.4 METODOLOGIA

O trabalho foi elaborado com base em pesquisas bibliográficas, em sua maioria, de artigos científicos internacionais. Alguns relatórios confeccionados por importantes órgãos também serviram como base, sobretudo em assuntos relacionados ao *status quo* do atual sistema de transporte rodoviário.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em seções que dão enfoque cada qual a um tema específico e que juntos permitem uma visão bastante ampla do setor de transporte rodoviário e das tecnologias que vêm sendo utilizadas e desenvolvidas para o setor.

A seção 2 sintetiza, de forma breve, a evolução do sistema de transporte brasileiro no último século, apontando os motivos pelo qual o modal rodoviário foi se

destacando. Na sequência do capítulo, são expostos os órgãos competentes do setor e as estatísticas do setor rodoviário no ano de 2017. A seção 3 descreve os principais conceitos de redes veiculares, como ITS, redes intra-veiculares, redes inter-veiculares, e as suas atuais tecnologias e arquiteturas. A seção 4 descreve as tecnologias e arquiteturas emergentes, como o conceito de IoV, a tecnologia 5G e os carros autônomos. A seção 5 faz uma análise do futuro do setor rodoviário, considerando a disrupção do setor com a adoção de redes veiculares totalmente integradas a sistemas complexos de gerenciamento e tomada de decisão, apontando, também, os diversos entraves que impedem ou dificultam grande parte das mudanças.

## 2 SISTEMA DE TRANSPORTE NO BRASIL

Nessa seção será introduzida uma contextualização do cenário de transportes brasileiros, com enfoque no modal rodoviário juntamente com dados estatísticos que retratam os principais problemas enfrentados pelo atual modelo. Além disso, são descritos os principais órgãos responsáveis pelo setor e suas atribuições.

### 2.1 SISTEMA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O desenvolvimento dos transportes no Brasil teve seu início no crescimento de uma malha ferroviária construída para atender às exportações de bens primários, característica econômica do Brasil nas primeiras décadas de 1900. Nessa época, o transporte tinha uma trajetória bastante simples e repetitiva, pois os bens produzidos no interior eram levados por meio das ferrovias até os portos, para que então pudessem ser exportados (BARAT, 2007).

Com o passar do tempo, a economia brasileira foi se alterando e a movimentação de bens no território interno foi se tornando cada vez mais presente, exigindo um modal mais rápido e dinâmico. O sistema ferroviário acabou não acompanhando essa evolução e foi sendo sucateado com o tempo. O transporte rodoviário apresentou um retorno de investimento mais rápido além de permitir uma maior penetração no território nacional. Um grande estímulo ao desenvolvimento do setor rodoviário na época, foi a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1945, que juntamente com IUCLG (Imposto Único sobre Combustíveis Líquidos e Gasosos), TRU (Taxa Rodoviária Única) e tributações sobre passageiros e carga, propiciaram um financiamento para construção, pavimentação e conservação das rodovias. Um outro fator que também propiciou estímulo ao desenvolvimento rodoviário foi a o crescimento da indústria automobilística (BARAT, 2007).

Na década de 70 e 80, com a criação do Fundo Nacional de Desenvolvimento, e da reforma tributária constante na constituição de 1988, os recursos não mais eram revertidos exclusivamente ao setor, e acabaram fazendo parte do Orçamento Geral da União. Com isso, os investimentos no setor foram

diminuindo e os problemas de infraestrutura se intensificando. Várias foram as estratégias para reverter a situação, como por exemplo a concessão de estradas federais, porém o que se encontra hoje é uma infraestrutura rodoviária nacional bastante disforme e ineficiente (BARAT, 2007).

### 2.1.1 Órgãos competentes

A estrutura organizacional brasileira para formular, coordenar e supervisionar as políticas nacionais no setor de transporte é, hoje, representada pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, segundo o decreto nº 9.000 de 8 de março de 2017. Entre outras competências, o Ministério tem papel fundamental no planejamento estratégico, estabelecendo diretrizes para implementação e priorização dos investimentos em transportes.

Vinculados ao Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil estão duas importantes autarquias nacionais brasileiras, o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres).

A ANTT tem como suas competências o fornecimento de concessões, permissões e autorizações no setor de transportes terrestres (rodoviário e ferroviário), enquanto o DNIT tem a responsabilidade principal da administração, manutenção, melhoramento, expansão e operação da infraestrutura do Sistema Nacional de Viação, por meio da implementação das políticas formuladas pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil e pelo CONIT (Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte) (DNIT, 2018).

O CTB (Código de Trânsito Brasileiro) instituído pela lei 9.503/1997 criou o Sistema Nacional de Trânsito, sendo este responsável, por meio dos seus órgãos e entidades, por garantir o direito de trânsito seguro a todos, segundo o artigo 1º §2º da lei. As responsabilidades do Sistema Nacional de Trânsito são definidas pelo artigo 5º como sendo:

... conjunto de órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios que tem por finalidade o exercício das atividades de planejamento, administração, normatização, pesquisa, registro e licenciamento de veículos, formação, habilitação e reciclagem de condutores, educação, engenharia, operação do sistema viário, policiamento, fiscalização, julgamento de infrações e de recursos e aplicação de penalidades. (BRASIL, 1997).

Dentro do Sistema Nacional de Trânsito, o Ministério das Cidades se configura como o coordenador máximo e abaixo dele o CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) atua como o coordenador e órgão máximo normativo e consultivo e o DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) como órgão máximo executivo de trânsito da união.

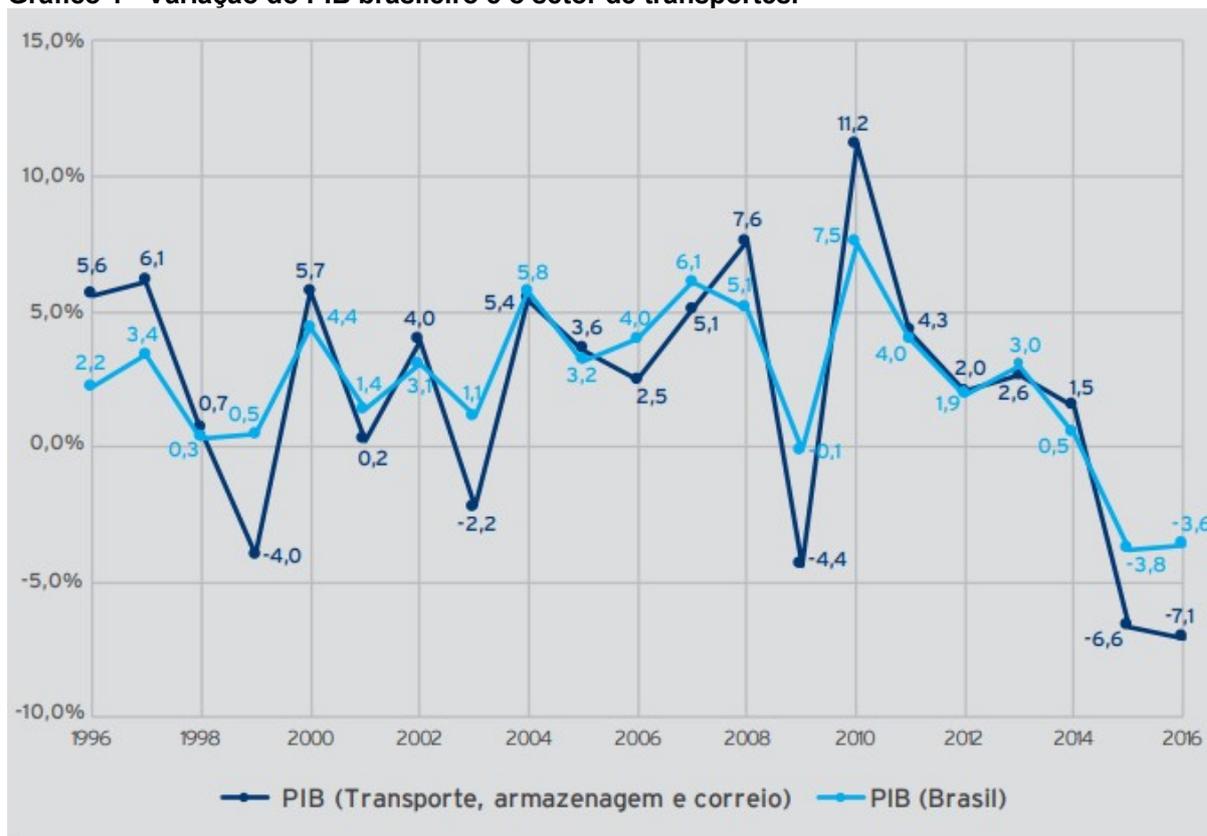
Um importante instrumento de desenvolvimento urbano é a Política Nacional de Mobilidade Urbana, instituída pela Lei 12.587/12 com o objetivo de promover melhorias na acessibilidade e mobilidade das pessoas no território dos municípios. A Lei define os diversos tipos de meios de transporte e as diretrizes e responsabilidades da união, estados e municípios quanto a mobilidade urbana. Ela obriga também que cidades acima de 20 mil habitantes e todas as cidades obrigadas a elaborarem o plano diretor, a incluírem o plano de mobilidade urbana no seu plano diretor, sob pena de não receberem repasses federais destinados a mobilidade.

### *2.1.2 Estatísticas do modal rodoviário*

O sistema rodoviário é hoje o principal meio de transporte de cargas e de pessoas do Brasil, dessa forma, ele tem um papel importante no desenvolvimento econômico do país. A falta de modernização e manutenção da infraestrutura, segundo CNT (2017) culmina em um modal que não atende à quantidade e qualidade necessária, causando um custo operacional do transporte elevado, maior incidência de acidentes rodoviários e graves impactos ambientais. (CNT, 2017).

O fato de o transporte fornecer serviços para todos os setores da economia e estar praticamente em toda cadeia produtiva, faz com que as variações no PIB reflitam de igual maneira no setor, como pode ser visto no gráfico 1. O contrário também é verdadeiro, pois resultados positivos no setor tendem a gerar resultados também positivos no PIB brasileiro.

Gráfico 1 - Variação do PIB brasileiro e o setor de transportes.



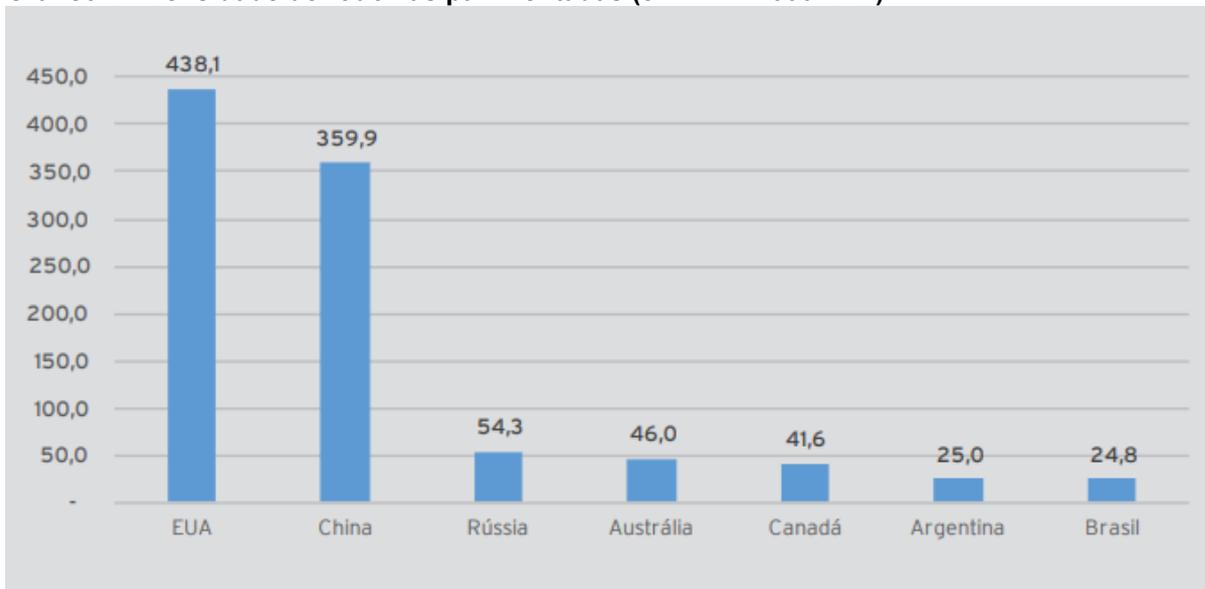
Fonte: Confederação Nacional do Transporte (2017)

### 2.1.2.1 Extensão e Qualidade

Como é de conhecimento de grande parte da população, as estradas brasileiras têm uma péssima reputação do que diz respeito a abrangência de vias pavimentadas. Em estudos da CNT (2017), levantou-se que dos 1.720.756km de rodovias no Brasil, somente 211.468km são pavimentados, o que representa somente 12,3% do total. Como forma de comparar com outros países, é utilizada a razão entre a extensão de rodovias pavimentadas e área do país. Conforme vê-se no gráfico 2, o Brasil tem 24,8km por 1.000 km<sup>2</sup> de área, atrás, inclusive, de países emergentes como Rússia e Argentina (CNT, 2017).

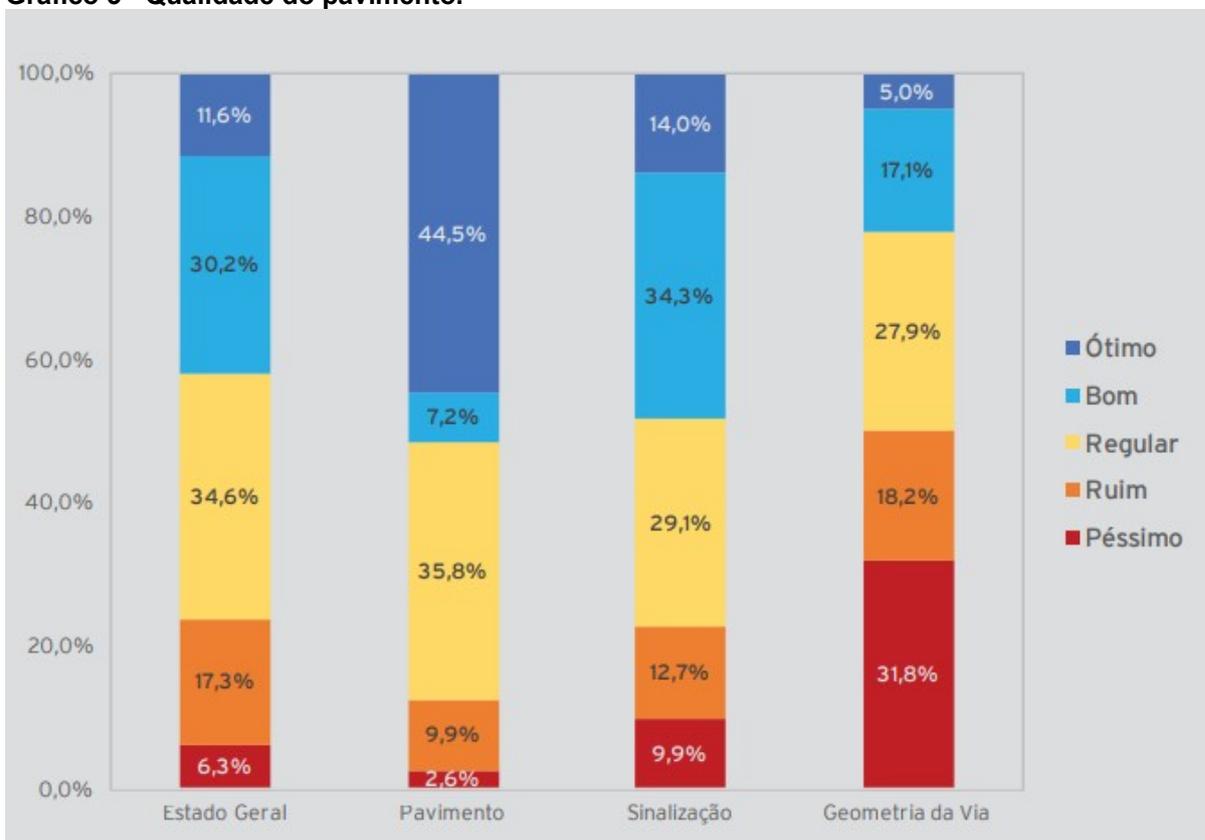
Outro retrato bastante preocupante é que além de uma baixa densidade de rodovias pavimentadas, a qualidade delas se encontram em situação bastante ruim, como é mostrado no gráfico 3, com problemas relacionados a pavimentação, sinalização e principalmente problemas na geometria da via, tais como pistas simples, ausência de acostamento e falta de dispositivos de proteção (CNT, 2017).

**Gráfico 2 - Densidade de rodovias pavimentadas (em km / 1.000 km<sup>2</sup>)**



Fonte: Confederação Nacional do Transporte (2017)

**Gráfico 3 - Qualidade do pavimento.**



Fonte: Confederação Nacional do Transporte (2017)

### 2.1.2.2Custo Operacional e Acidentes

A inadequação do pavimento, sinalização e geometria das rodovias afetam diretamente o custo operacional do transporte rodoviário. Um exemplo são as irregularidades presentes em forma de buracos, ondulações e remendos, que diminuem a vida útil dos componentes veiculares, aumentam o consumo de combustíveis e o tempo de deslocamento. Toda a cadeia de produção sofre o ônus desse custo, que contribui para o aumento do Custo Brasil e prejudica o desenvolvimento econômico nacional diminuindo o poder de compra das pessoas e diminuindo a competitividade das exportações (CNT, 2017).

Como se não fosse suficiente, a má qualidade da infraestrutura rodoviária impacta na segurança dos usuários, potencializando a ocorrência de acidentes. Somente em 2016, a quantidade de acidentes no Brasil foi de 96.363 gerando um custo total de 10,88 bilhões de reais segundo estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) realizados em 2015 e mostrados no quadro 1. Dentre os custos considerados, estão os hospitalares, perda de cargas, custos de remoção de veículos das vias, depósitos nos pátios e perda de produção. Esse valor é tão representativo, que supera o valor total de R\$8,61 bilhões dos investimentos públicos federais feitos no ano de 2016 em infraestrutura do setor rodoviário (CNT, 2017).

**Quadro 1 - Custo de acidentes por gravidade, Brasil - 2016.**

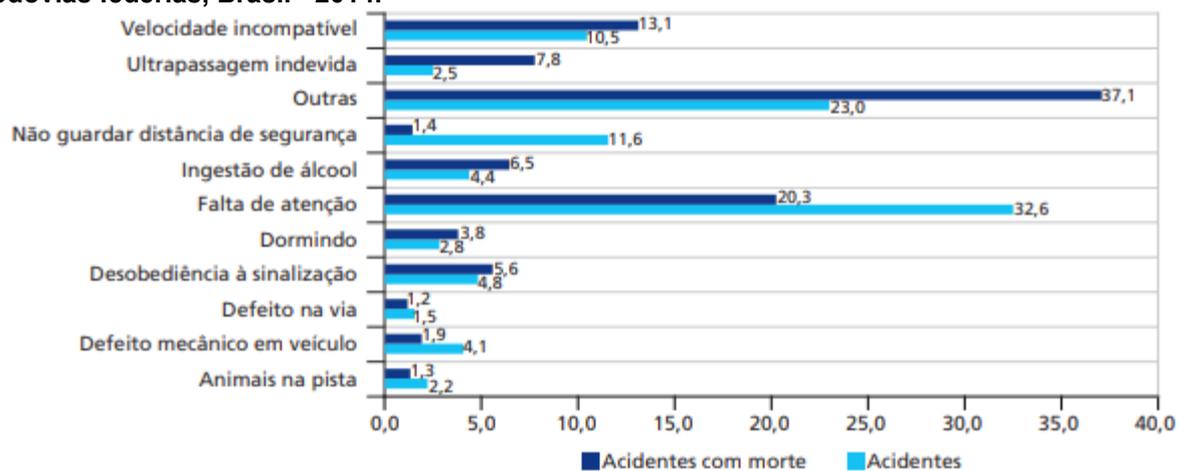
Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes	Custo médio (R\$ mil/ocorrência)	Custo total (R\$ bilhões)
Com fatalidade	5.355	760,79	4,07
Com vítimas	54.873	106,08	5,82
Sem vítimas	36.135	27,13	0,98
Total	96.363	112,86	10,88

Fonte: Confederação Nacional do Transporte (2017)

Segundo estudos do IPEA com dados obtidos pela PRF (Polícia Rodoviária Federal), o gráfico 4 mostra que a principal causa de acidentes nas estradas federais no ano de 2014 foi a falta de atenção dos motoristas, causando 20,3% dos acidentes com mortes e 32,6% dos acidentes sem mortes. Juntamente com outros

fatores como velocidade incompatível e ultrapassagem indevida percebe-se que as falhas humanas são as principais responsáveis pelos acidentes no trânsito. Esses dados devem ser tomados como um incentivo ao desenvolvimento de sistemas veiculares mais seguros, principalmente no sentido de reduzir a interação humana, com o surgimento de carros autônomos (IPEA, 2015).

**Gráfico 4 - Causas versus gravidade dos acidentes registradas por agentes da PRF nas rodovias federais, Brasil - 2014.**



Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2015)

### 3 REDES VEICULARES

O crescimento acelerado da frota de veículos nas últimas décadas sem uma política governamental adequada fez surgirem diversos problemas. Um dos problemas é a poluição do ar causada, entre outros fatores, pela queima de combustíveis fósseis nos veículos, gerando impactos ambientais irreversíveis ao planeta. Outro problema são os congestionamentos, que causam o aumento do tempo de deslocamento e prejudicam a qualidade de vida das pessoas, gerando maior desgaste físico e psicológico, além de tomar um tempo que poderia ser utilizado para descanso, lazer ou atividades criativas. No sentido de propiciar uma maior eficiência no transporte surge um termo bastante comum na língua inglesa, Intelligent Transportation Systems (ITS).

O termo ITS é um conceito bastante amplo no setor de transporte e está relacionado a um sistema integrado de tecnologias de sensoriamento, comunicação, e tecnologia da informação para prover soluções para cooperação e plataformas confiáveis para o transporte. O objetivo é otimizar o transporte, reduzindo congestionamentos, taxas de acidentes, emissão de carbono, e por outro lado aumentando a segurança, e a velocidade média de tráfego (QURESHI; ABDULLAH, 2013).

Tradicionalmente, ITS tem se baseado em sistemas isolados com aplicações específicas e que normalmente não se integram, gerando resultados bastante limitados. Para se obterem maiores ganhos no sistema de transporte os ITS devem integrar as mais diversas tecnologias em um sistema capaz de receber uma grande quantidade de dados, processá-los e agir com base nos dados em tempo real. Parte fundamental de um ITS são as redes veiculares, nas quais ocorre a comunicação entre os veículos, a chamada comunicação V2V (*vehicle-to-vehicle*), ou de forma mais ampla V2X (*vehicle-to-everything*) na qual os veículos se comunicam com outros veículos e com todas as outras entidades que podem se relacionar com eles, como estrada, pedestres, e dispositivos (IBÁÑEZ, 2015).

As redes veiculares podem ser entendidas como a junção das redes internas dos veículos, aqui chamadas de intra-veiculares e as redes que conectam os veículos e todas as outras entidades (nós) a eles conectados, aqui chamadas de redes inter-veiculares.

### 3.1 REDES INTRA-VEICULARES

O cenário atual é de grande evolução no setor automotivo, com o desenvolvimento de diversos módulos de sensoriamento e controle e o aumento vertiginoso da quantidade e complexidade das unidades de controle eletrônicas, conhecidas pela sigla ECU (*Electronic Control Unit*). Além do controle do ambiente interno do veículo e de seus módulos, o sensoriamento e controle avançam no sentido de extraírem informações do ambiente externo para integrar nos controles internos. Exemplo disso são os chamados *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS), sistemas complexos que se utilizam de informações internas e externas para aprimorarem a segurança e a autonomia do veículo.

O uso de redes baseadas em barramento, como CAN (*Controller Area Network*) e FlexRay, foi uma forma de permitir a conexão entre uma grande quantidade de unidades de controle de forma mais performática, sem a necessidade de conexões ponto-a-ponto entre elas. Contudo, com o aumento do tráfego de dados (i.g. imagens de câmeras para sistemas de *parking assistance*), e a eminente tendência de carros autônomos, é natural que as atuais tecnologias de redes evoluam ou deem lugar a novas, a fim de garantir a segurança e confiabilidade dessas novas aplicações. O quadro 2 descreve as principais tecnologias utilizadas nas redes intra-veiculares, comparando a taxa de transmissão, meio físico e protocolo de transmissão (TUOHY et al., 2015).

**Quadro 2 - Tecnologias automotivas.**

Protocol	Bitrate	Medium	Protocol
LIN	19.2 Kbps	Single Wire	Serial
CAN	1 Mbps	Twisted Pair	CSMA/CR
FlexRay	20 Mbps	Twisted Pair/Optical Fibre	TDMA
MOST	150 Mbps	Optical Fibre	TDMA
LVDS	655 Mbps	Twisted Pair	Serial/Parallel

**Fonte: Tuohi (2014)**

O padrão CAN é um dos mais conhecidos, e tem como características, o baixo custo e uma baixa taxa de transferência. O fato de não garantir um

comportamento determinístico, com um controle de acesso baseado em evento e não com a multiplexação no tempo, normalmente esse padrão é utilizado em aplicações mais simples e não críticas. O padrão FlexRay, por outro lado possibilita uma maior taxa de transferência e por utilizar um mecanismo de sincronismo baseado em *clock*, garante *jitter* e latência constantes. Essas características o tornam mais adequado a aplicações críticas e que demandam maior transferência de dados, apesar do seu custo ser mais elevado se comparado ao padrão CAN. O padrão LIN (*Local Interconnect Network*) é uma alternativa mais barata ao CAN, mas com foco em sistemas bem simples, devido a taxa de transferência de 19,2 Kbps. MOST (*Media Oriented Systems Transport*) e LVDS (*Low-Voltage Differential Signaling*) são padrões com taxas de transferência bem mais altas utilizados normalmente em sistemas de multimídia (TUOHY et al., 2015).

A grande variedade de aplicações nos atuais veículos, com diferentes requisitos de confiabilidade, segurança, taxa de transferência e criticidade faz com que diversos desses padrões discutidos coexistam em um único veículo. Um padrão bastante conhecido no mundo de redes IP, o Ethernet, especificado pela IEEE 802.3, devido a sua alta largura de banda, baixo custo e flexibilidade expandiu sua adoção em redes industriais e busca seu espaço nas redes intra-veiculares. Da forma padrão em que o Ethernet foi especificado, não seria possível ser usado em aplicações críticas, pois não é possível garantir um comportamento determinístico. Frente a isso algumas técnicas como a 802.1q e especificações como AVB (*Audio Video Bridging*) e TTEthernet (*Time-Triggered Ethernet*) permitem uma maior garantia de serviço (QoS) e sincronismo de tempo sobre o Ethernet (TUOHY et al., 2015).

O uso do padrão Ethernet, apoiado pelo AUTOSAR (*AUTomotive Open System ARchitecture*), como *backbone* das redes intra-veiculares, independente do meio físico utilizado (i.g., UTP, Firewire, PLC e wireless), se mostra como uma tendência, permitindo uma interoperabilidade com as redes inter-veiculares, a serem discutidas a seguir (TUOHY et al., 2015).

## 3.2 REDES INTER-VEICULARES

A comunicação veicular é um tema muito discutido na indústria, academia e congressos, e se intensifica a partir do momento em que se percebe que na última década os altos índices de acidentes representaram uma grande quantidade de mortes. Segundo (WHO, 2018), as lesões causadas no trânsito são hoje a nona maior causa de mortes no mundo, considerando todas as idades, sendo que as previsões para 2030 apontam como a sétima maior causa. Diante desse cenário, existem muitos estudos na área de tecnologias de comunicação para prover um trânsito mais seguro. Um modelo de rede veicular muito difundido nos Estados Unidos e com capacidade de aprimorar a segurança no trânsito é o chamado VANET (*Vehicular ad-hoc Network*).

### 3.2.1 VANET

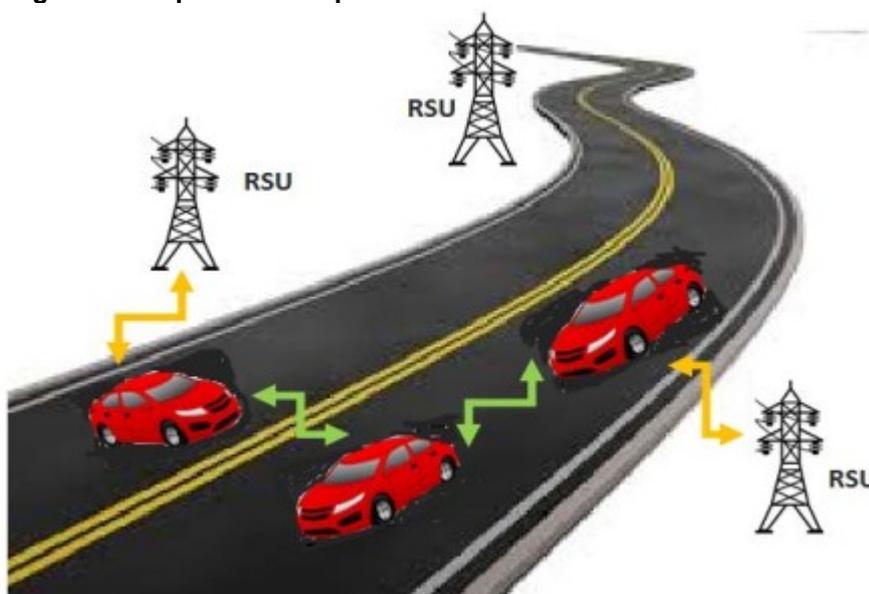
VANET é um tipo de rede MANET (*Mobile Ad Hoc Networks*) no qual o veículo é o dispositivo móvel. Ela se configura como uma rede auto organizada voltada para a comunicação V2V e V2I (*vehicle-to-infrastructure*) que se utiliza de tecnologias sem fio de rede local (WLAN). A sua estrutura descentralizada permite que a rede seja formada dinamicamente pelos veículos em movimento, sem a necessidade de um elemento central. Diferentemente de uma rede celular, na qual a comunicação entre os veículos somente seria possível mediada pelas estações rádio base, a característica *ad hoc* garante que as informações sejam trafegadas diretamente entre os veículos e entre os veículos e a infraestrutura (PANJRATH; PORIYE, 2017).

As aplicações das VANETs podem ser agrupadas em três principais categorias: segurança, eficiência do transporte e informação/entretenimento. No campo da segurança, tem-se, por exemplo, aplicações que evitam colisões por meio de avisos de acidentes, de falhas mecânicas e alertas de mudança de faixa. Um exemplo de aplicação que permite a eficiência do transporte é o chamado *platooning* na qual vários veículos formam um pelotão e trafegam na via com velocidades e frenagens sincronizadas, de forma a manterem distâncias pequenas entre eles, otimizando o consumo de combustível, tempo de deslocamento e a capacidade da

via. Quanto à informação e entretenimento, aplicações de diagnóstico remoto *wireless* e cobrança automática de pedágio são um exemplo (HARTENSTEIN; LABERTEAUX, 2008).

A arquitetura de uma VANET, de forma bastante simplificada, é composta por dois dispositivos: OBU (*On-board Unit*) e RSU (*Roadside Unit*). OBU é um dispositivo instalado dentro do veículo e é composto por processador, memória, interface de usuário e interfaces de comunicação sem fio, utilizadas na comunicação com outras OBUs e com as RSUs. Segundo Li (2012) as OBUs são normalmente embarcadas a fim de permitir a conectividade com as redes intra-veiculares, (i.g., CAN e FlexRay). As RSUs estão dispostas normalmente em lugares dedicados na infraestrutura e possibilitam a redistribuição de mensagens entre OBUs mais distantes e entre as OBUs e a infraestrutura. Um exemplo, são alertas de problemas na via, enviados das RSUs para as OBUs. Além disso, as RSUs podem estar conectadas a um gateway conectado a Internet, para prover informações diversas. A figura 1 ilustra essa arquitetura (PANJRATH; PORIYE, 2017)

**Figura 1 - Arquitetura simplificada de uma VANET.**



Fonte: Panj Rath (2017)

Os veículos utilizam uma grande quantidade de tecnologias *wireless* para se comunicar com outros dispositivos, sendo que alguns padrões e algumas tecnologias vem sendo, nas últimas décadas, foco de maiores estudos e investimentos. Atualmente os padrões estão normalmente regionalizados por

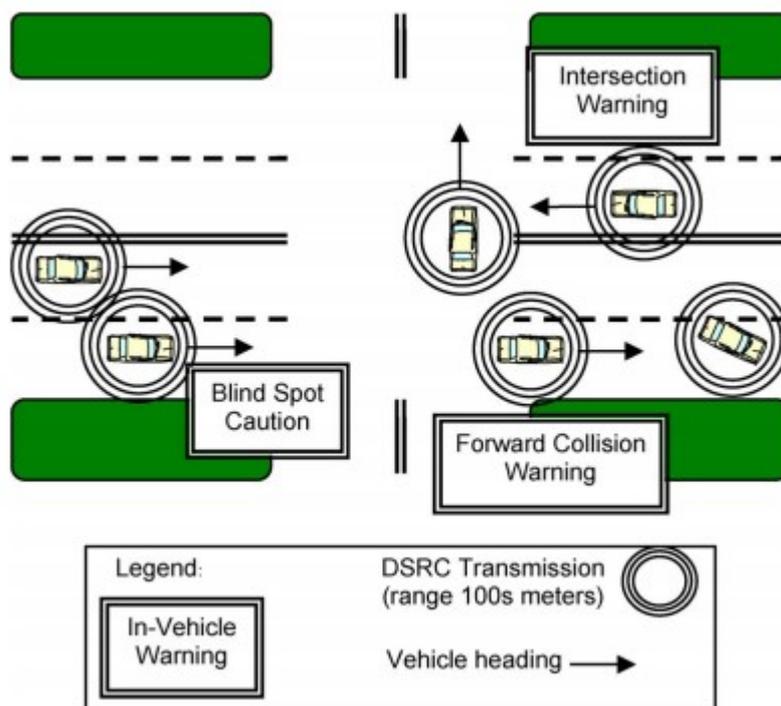
iniciativas individuais de alguns países ou grupo de países e não há um padrão globalmente utilizado.

### 3.2.1.1 DSRC

Dentre os padrões mais discutidos nas últimas décadas, está o DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) definido, em 1999, pela FCC (*Federal Communications Commission*). O DSRC corresponde à faixa de 75 MHz no espectro da banda de 5,9 GHz com o canal 172 reservado para troca de mensagens de segurança. Apesar da padronização de comunicações veiculares de curto alcance similares serem posteriormente adotadas em outras regiões, como na Europa, pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e no Japão, pela ARIB (*Japanese Association of Radio Industries and Businesses*) o uso de diferentes faixas de frequência e protocolos ainda é um problema e impedem a compatibilidade (KENNEY, 2011).

O DSRC foi definido, em sua essência, para aplicações de segurança de tráfego, com o objetivo de reduzir drasticamente os números de acidentes e mortes no trânsito. Apesar disso, ela foi estruturada de forma a permitir os mais diversos tipos de aplicações. A figura 2 exemplifica o uso do padrão DSRC para alertas de cruzamento, de eminência de colisão e aviso de ponto cego (KENNEY, 2011).

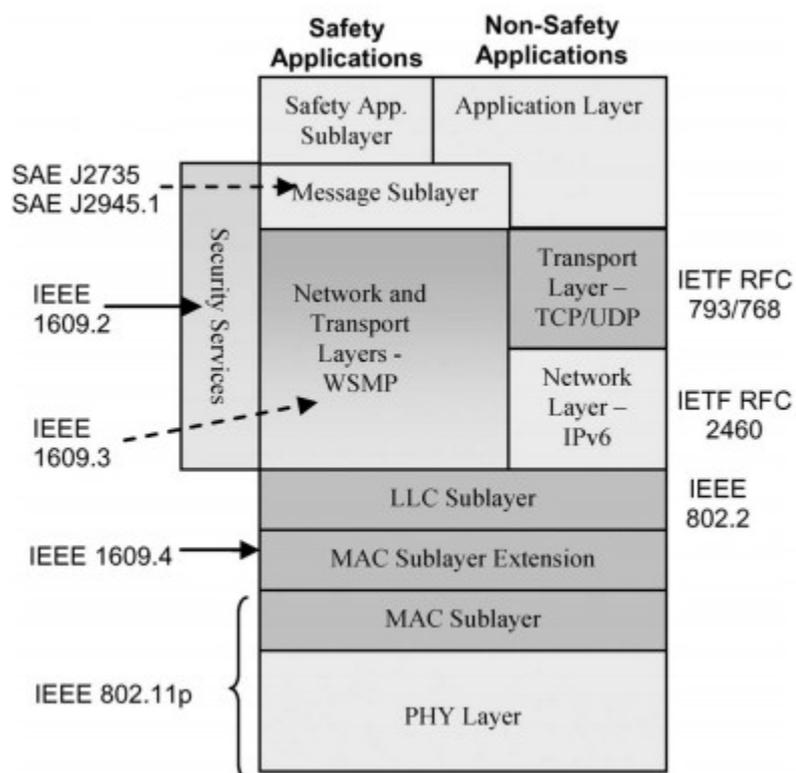
Figura 2 - Padrão DSRC aplicado a segurança do trânsito.



Fonte: Kenney (2011)

Para as comunicações DSRC, o IEEE definiu um conjunto de padrões denominados WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environment*). Esses padrões permitem uma comunicação sem fio segura no ambiente veicular com taxa de transferência de até 27Mbps, alcance de 1000m e baixa latência. A camada física da pilha de protocolos WAVE é definido pela IEEE 802.11p derivação do conhecido padrão 802.11 (WiFi), com adequações quanto a latência e dinamismo no ambiente veicular. As demais camadas, acima da camada física, definem essencialmente padrões de segurança, formato de mensagens e alocação de canais, e são definidas pelo padrão IEEE 1609, SAE J2735 e SAE J2945.1, conforme mostra a figura 3. O padrão 1609.3 permite a utilização de duas pilhas de protocolos, o WSMP e protocolos de rede IP (IPv6). O WSMP é focado normalmente para aplicações críticas de segurança, enquanto a pilha IP é destinada a transferência de dados da Internet (AHMED, 2013).

Figura 3 - Arquitetura em camadas da comunicação DSRC nos EUA.



Fonte: Kenney (2011) - modificado

## 4 ARQUITETURAS E TECNOLOGIAS EMERGENTES

O avanço tecnológico na área da computação e comunicação dos últimos anos, alavancados principalmente pela popularização da Internet fez surgir novas tecnologias e arquiteturas. Dentre elas, destaca-se uma nova arquitetura de rede veicular, a chamada Internet dos Veículos (IoV), que surgiu como evolução das VANETs. No campo das comunicações, a tecnologia 5G surge como promissora e se mostra como a próxima geração da comunicação móvel. Por último, talvez a mais extraordinária das invenções, são os carros autônomos, que apesar de muitos deles estarem em fase de teste, alguns já são encontrados circulando pelas ruas.

### 4.1 INTERNET OF VEHICLES

O aumento dos dispositivos conectados à infraestrutura da Internet, fez surgir o termo Internet das Coisas, ou IoT (*Internet of Things*). A expansão dessa conectividade possibilitou que dados fossem extraídos de dispositivos que até então trabalhavam de forma isolada e sem nenhuma ou pouca interação com as pessoas ou com outros dispositivos. A utilização da Internet como a camada na qual os dados são recebidos, processados e analisados se mostrou bastante eficiente e é hoje a infraestrutura que mantém a maior parte das aplicações.

Esse entendimento sobre a evolução da Internet e dos dispositivos a ela conectados fez surgir um novo modelo de rede veicular, vista como sucessora das VANETs, a Internet dos Veículos, ou IoV (*Internet of Vehicles*), a qual compreende, segundo Contreras, Zeadally e Guerrero-ibanez (2017) três componentes: redes intra-veiculares, redes inter-veiculares e Internet móvel veicular.

IoV, segundo Yang et al. (2017) é um sistema de rede aberta e convergente baseada na coordenação de veículos, humanos e dispositivos, no qual é feito o sensoriamento, reconhecimento, transmissão e processamento das informações sobre as pessoas, veículos, rede de comunicação e a infraestrutura de tráfego rodoviário, utilizando TICs e tecnologias de processamento. Segundo Yang et al. (2014), IoV se apresenta como um conceito mais amplo, do qual a VANET é um subconjunto, focado na integração de tecnologias de computação e comunicação

com o objetivo de permitir a eficiência do transporte e aprimorar os serviços das cidades.

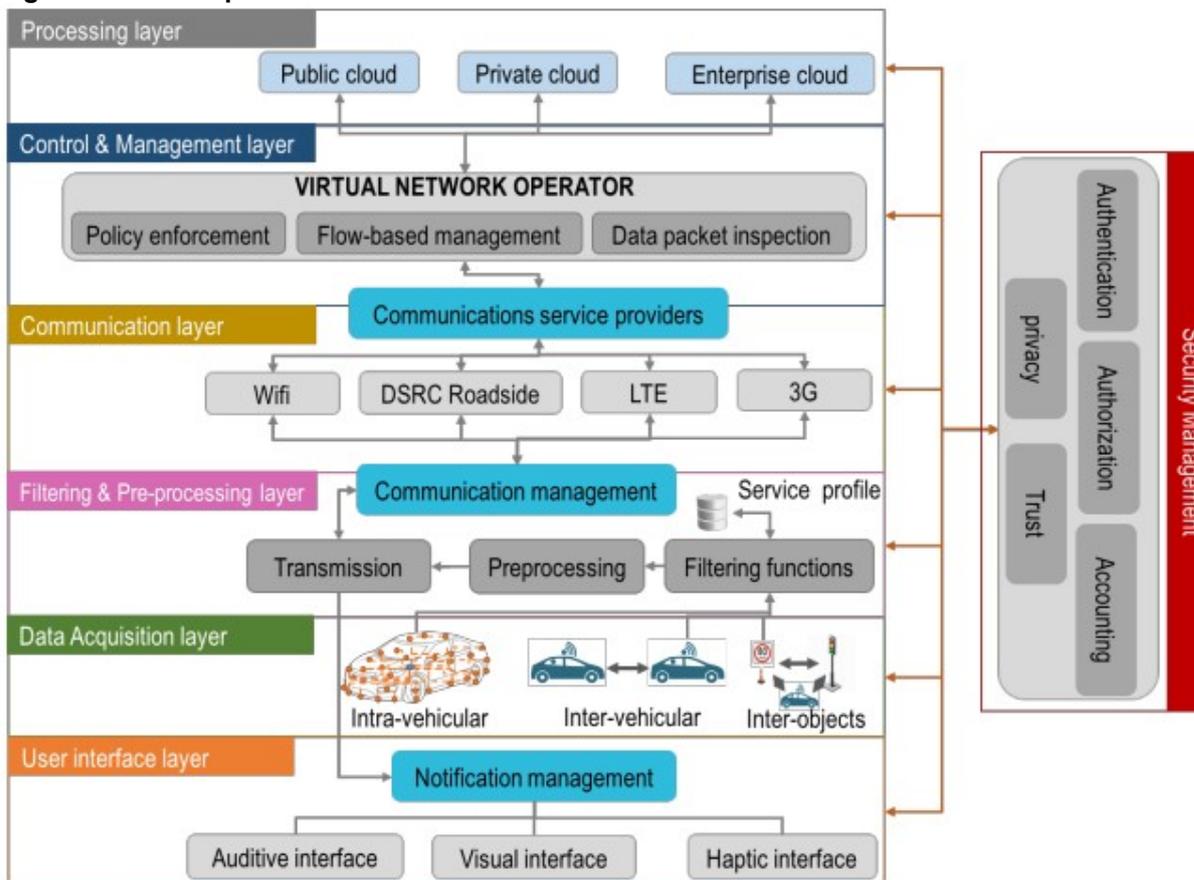
A VANET, conforme descrito em seções anteriores, é caracterizada como uma rede formada dinamicamente e de forma aleatória abrangendo uma área geográfica restrita. Essa característica ad-hoc das VANETs prejudica o fornecimento de serviços globais cooperativos e sustentáveis, inadequada, pois, para resolver os problemas de trânsito de grandes cidades e países, que abrangem áreas muito extensas e correlações complexas entre veículos, pedestres e o ambiente. Há ainda outras importantes limitações nas VANETs, como a falta de garantia de conectividade com a Internet e a incompatibilidade com dispositivos móveis e com o modelo de armazenamento e processamento da computação em nuvem (KAIWARTYA et al., 2016).

Além disso, durante as últimas décadas não houve expressiva evolução nas implementações desse modelo de rede veicular e muito menos um interesse comercial, o que de certa forma gerou uma estagnação no seu uso. Diante dessas limitações, levantou-se a necessidade de um modelo mais amplo e adequado às evoluções tecnológicas (YANG et al., 2014).

Não existe uma arquitetura em camadas bem definida para IoV, porém nota-se que na literatura, os modelos derivam de uma arquitetura de três níveis. O primeiro nível é o de aquisição dos dados, o segundo é o de comunicação e o terceiro de aplicação. Contreras, Zeadally e Guerrero-ibanez (2017) propõe uma arquitetura baseada em sete camadas: interface com usuário, aquisição de dados, pré-processamento e filtragem, comunicação, controle e gerenciamento, processamento e a camada de segurança.

A figura 4 descreve as sete camadas do modelo descrito por Contreras, Zeadally e Guerrero-ibanez (2017). A primeira camada é a de *interface* do usuário, utilizada para notificar o motorista de eventos externos e internos, utilizando dispositivos adequados à situação. Um exemplo são alertas visuais ou sonoros de risco de colisão. A segunda camada, a de aquisição de dados é responsável por coletar dados por meio de sistemas de sensoriamento interno dos veículos, dados compartilhados na comunicação com outros veículos e dados provenientes de dispositivos externos. A terceira camada é a camada de pré-processamento e filtragem, necessária para fazer uma análise prévia dos dados coletados para evitar tráfego desnecessário, assim como otimizar o meio de transmissão.

Figura 4 - IoV: Arquitetura de 7 camadas.



Fonte: Contreras; Zeadally; Guerrero-Ibanez (2017).

A camada de comunicação é responsável por fazer a transmissão dos dados por meio de uma rede de comunicação adequada, usando funcionalidades tais como QoS, segurança e privacidade. Nessa camada, há o papel dos provedores de serviços de telecomunicações no fornecimento de conectividade. A quinta camada é a de controle e gerenciamento na qual são aplicadas as políticas de engenharia e gerenciamento de tráfego e é feito o gerenciamento das redes de comunicação de diversos provedores. A sexta camada é a camada de processamento, na qual todos os dados são processados em uma arquitetura de *cloud computing*, na qual tem-se uma grande capacidade de armazenamento, processamento, disponibilidade e elasticidade. A camada de segurança se mostra transversal a todas as outras camadas, de forma que está relacionada a todas elas. O objetivo da camada de segurança é garantir os princípios da segurança: autenticidade, integridade, disponibilidade e confidencialidade na IoV e evitar riscos de segurança (CONTRERAS; ZEADALLY; GUERRERO-IBANEZ, 2017).

## 4.2 5G

Um sistema de transporte inteligente, sobretudo no modelo de IoV, exige tráfego de informações de diversos dispositivos, que juntos formam um complexo sistema de comunicação. As tecnologias sem fio são essenciais nas comunicações V2V e V2X, pois permitem ampla conectividade e principalmente a mobilidade intrínseca dos veículos e dos demais dispositivos. São diversas as tecnologias *wireless* existentes no mercado, principalmente aquelas aplicáveis à IoT, como NB-IoT, LoRA, Sigfox e derivações da atual rede celular de quarta geração a LTE-M. Elas compartilham entre si algumas características, como o baixo consumo de energia no dispositivo, grande alcance, e baixa taxa de transferência.

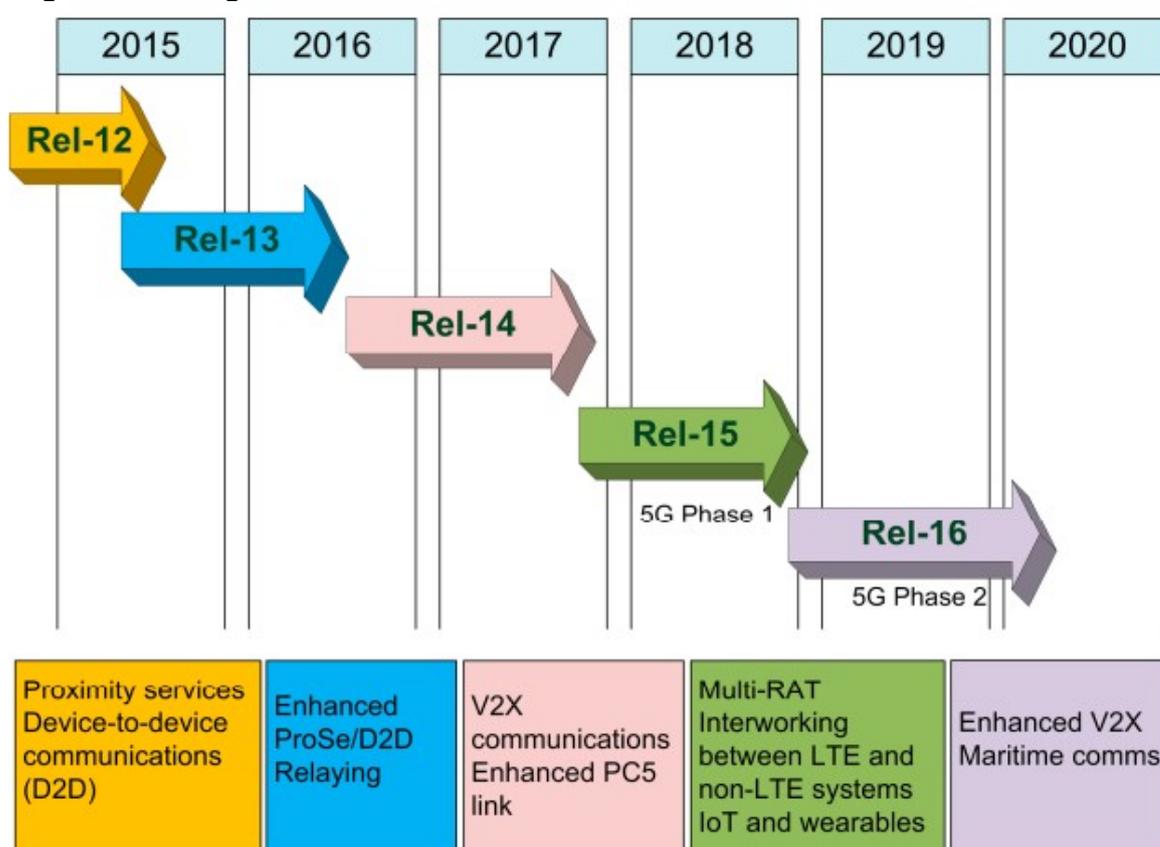
As redes veiculares, tem algumas características que as diferem de grande parte das aplicações de IoT, como a necessidade de baixíssima latência para aplicações críticas, confiabilidade e conectividade mesmo em situações de altas velocidades. Diante dessas características, os padrões atuais não se mostram aderentes. O conjunto de padrões WAVE, descrito na seção anterior, contempla na camada física a tecnologia 802.11p, e segundo Wevers e Lu (2017) são adequadas às aplicações de ITS e foram extensivamente testadas nos Estados Unidos e países da Europa, inclusive com alocação de faixa de frequência de 5,9GHz exclusiva. Entretanto, segundo Mumtaz et al. (2015), o padrão 802.11p ainda carece de uma infraestrutura totalmente difundida e com implementações reais. Além disso, o padrão não consegue garantir eficiência e confiabilidade para aplicações práticas, já o padrão LTE-A, sucessor do padrão LTE e comercialmente denominado 4G, permitem maior cobertura, escalabilidade, capacidade e taxa de transferência em relação ao padrão 802.11p.

A arquitetura convencional da telefonia celular exige que toda a comunicação entre os dispositivos seja roteada necessariamente pela estação base, mesmo se os dispositivos estiverem a uma curta distância entre eles, no entanto, para a comunicação V2X esse modelo se mostra bastante ineficiente. Alguns dos problemas dessa arquitetura é o inerente aumento da latência na comunicação e a cobertura de comunicação restrita ao alcance das estações bases. Uma alternativa promissora é utilizar a comunicação D2D (*device-to-device*) ou LTE *sidelink*, como

também é conhecida, na rede celular para propiciar uma comunicação V2X segura e eficiente (REN et al., 2015).

A especificação da comunicação D2D e das otimizações necessárias para permitir a comunicação V2X estão sendo elaboradas pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*), seguindo o cronograma mostrado na figura 5. Conforme o cronograma, o *release* 14 já suporta em sua especificação a comunicação V2X. A especificação técnica dos requisitos necessários para os serviços V2X podem ser encontrados em ETSI (2017) e em 3GPP (2018).

**Figura 5 - Cronograma releases 3GPP**



**Fonte:** Höyhtyä, Apilo e Lasanen (2018).

O *release* 14 do 3GPP contém as melhorias no padrão LTE para permitir a comunicação V2X, sendo sua padronização conhecida pelos termos LTE-V, LTE-V2X ou C-V2X. O padrão LTE-V possui basicamente duas interfaces de rádio para comunicação, a Uu para a comunicação V2I e a PC5 para a comunicação V2V. Nos *releases* 12 e 13 haviam sido especificados os serviços de proximidade (ProSe) definidos para a comunicação D2D, com foco em serviços de segurança pública com a definição de dois modos de operação, 1 e 2, desenvolvidos para a redução do

consumo de bateria, porém com o ônus do aumento de latência. Esses modos de operação não são adequados às redes veiculares, dessa forma, a padronização do LTE-V criou os modos de operação 3 e 4. No modo 3 a alocação do espectro é feito pela eNB (*envolved NodeB*), enquanto no modo 4, não há a necessidade de cobertura da rede celular, pois o espectro é alocado diretamente pelos veículos. O *release* 14 suporta, por exemplo casos de uso de alerta de colisão, entretanto somente no *release* 15, ainda em andamento, que é aprimorada a latência e confiabilidade para aplicações críticas, como por exemplo de direção autônoma (MOLINA-MASEGOSA; GOZALVEZ, 2017).

A próxima geração de tecnologia celular, o 5G, sucessor do 4G, teve seus requisitos definidos no IMT 2020. Os requisitos mínimos de performance foram descritos no relatório ITU-R M.2410-0, onde são definidos baseados em três cenários: eMBB (*enhanced mobile broadband*), URLLC (*ultra-reliable and low-latency communications*) e mMTC (*massive machine type communications*). O cenário de eMBB prevê otimização de uso de espectro, aumento de taxa de *downlink* e *uplink*, melhora da experiência do usuário, aumento na capacidade de tráfego por área e aumento na mobilidade. O cenário de URLLC prevê essencialmente maior confiabilidade e baixíssima latência. Já o cenário de mMTC, prevê maior densidade de conexão por quilometro quadrado e redução do consumo de energia (ITU, 2017).

Como forma de atender a esses requisitos, e colocar a nova geração de rede celular aderente às novas dinâmicas do mercado, o 3GPP trabalha conjuntamente com grandes associações de empresas automobilísticas, de telecomunicações e de equipamentos, como a 5GAA e a 5G Americas, com o objetivo de tornarem o 5G realidade para diversas aplicações.

### 4.3 CARROS AUTÔNOMOS

A indústria automobilística passa por um momento de grande inovação com o desenvolvimento de veículos que dispensam motoristas, tendo seu funcionamento totalmente baseado em um complexo sistema autônomo composto por *software* e *hardware*. Resultado da evolução dos atuais sistemas avançados de assistência ao

motorista (ADAS) e apoiados pelos altos investimentos das empresas fabricantes de veículos e de empresas de tecnologia, os carros autônomos buscam aumentar a segurança no trânsito com a redução dos índices de acidentes causados por falhas humanas e otimizar o sistema de transporte com a redução dos tempos de deslocamento e da emissão de gases poluentes (LEICHT; CHTOUROU; YOUSSEF, 2018).

O termo “autônomo” vem sendo utilizado em contextos bastante diversos e acaba gerando entendimentos dúbios do que realmente caracteriza um veículo autônomo. De maneira bastante purista, pode-se dizer que um veículo autônomo é aquele que se locomove sem a necessidade de nenhum controle humano, contudo, hoje, utiliza-se o termo para se referir por exemplo a carros que possuem algum sistema automatizado de controle de direção, mesmo como intervenções humanas. Duas importantes tecnologias de carros autônomos são a *Super Cruise* da GM e a *Autopilot* da Tesla (GLANCY, 2015).

Como forma de definir estágios de evolução dos carros autônomos e permitir comparar tecnologias, algumas organizações definiram níveis que qualificam e descrevem o nível de autonomia de um veículo. Um exemplo são os níveis definidos pela NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) e talvez a mais conhecida, a SAE *International* (*Society of Automotive Engineers*). A figura 6 descreve os 6 níveis de automação veicular da SAE, os quais variam do nível 0 ao nível 5 de forma progressiva de autonomia (GLANCY, 2015).

No nível 0 não há nenhuma automatização, e o motorista tem total controle e responsabilidade pela direção. No nível 1, existe um sistema de assistência ao motorista de direção ou de aceleração/desaceleração sendo de responsabilidade do motorista as outras atividades. Nível 2 caracteriza um veículo com sistema de assistência ao motorista tanto de direção quanto aceleração/desaceleração, porém, assim como nos dois níveis antecessores o humano se responsabiliza pelo monitoramento do ambiente de direção. No nível 3, o sistema autônomo é responsável por todos os aspectos da direção, porém exige intervenção humana quando requisitado. O nível 4 se diferencia do nível 3 por ter um sistema automatizado que funciona mesmo quando a intervenção humana não é executada apropriadamente. O nível mais alto de automação é o nível 5, no qual o sistema autônomo é capaz de agir em qualquer tipo de ambiente e todas as condições que um humano poderia conduzir o veículo. Nesse nível não são necessários nem os

pedais para o motorista. Atualmente, empresas como Tesla, Audi, Google, GM tem veículos que se enquadram no nível 2 chegando próximo do 3, tendo o motorista ainda um papel essencial no controle de grande parte dos ambientes (GLANCY, 2015).

**Figura 6 - Níveis de automação veicular**

<b>Level 0:</b> No Automation	“[T]he full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems”
<b>Level 1:</b> Driver Assistance	“[T]he driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task”
<b>Level 2:</b> Partial Automation	“[T]he driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task”
<b>Level 3:</b> Conditional Automation	“[T]he driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene”
<b>Level 4:</b> High Automation	“[T]he driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene”
<b>Level 5:</b> High Automation	“[T]he full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions”

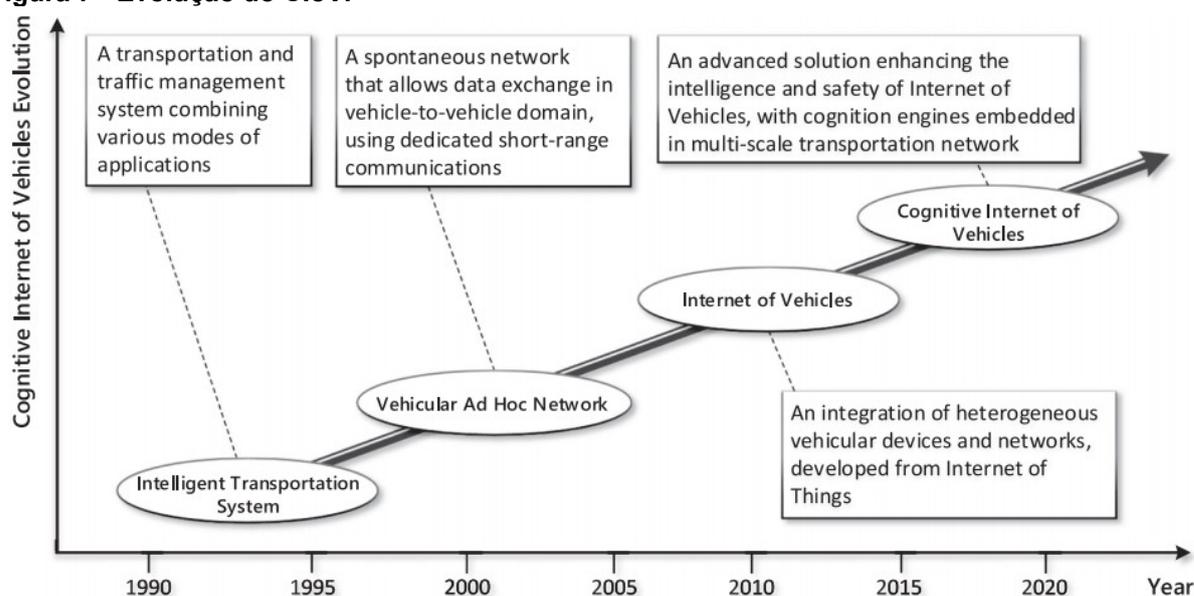
Fonte: Glancy (2015).

Independentemente do nível de automação, os sistemas de direção autônomos são um exemplo prático do uso de diversas técnicas de inteligência artificial para tomadas de decisão no ambiente de transporte. Segundo Chen et al. (2018), um novo paradigma denominado CloV (*Cognitive Internet of Vehicles*) se apresenta como um aprimoramento da tradicional arquitetura de IoV e tem como objetivo implementar inteligência no sistema de transporte, essencial para o sucesso dos sistemas de direção autônoma. A figura 7 mostra a evolução temporal do CloV, desde os primeiros estudos de ITS, passando pelas redes VANETs, pela arquitetura IoV até as soluções de CloV.

Os carros autônomos atualmente testados trabalham normalmente com dados provenientes de sensores externos, como radar, ultrassom, laser, câmeras,

GPS e sensores dos próprios sistemas de controle, mas com limitadas interações com outros veículos. Alguns sistemas de assistência a direção, já utilizam informações de outros veículos como forma de compartilhamento de informações, como por exemplo o sistema Audi Connect, utilizado no sistema assistente do Audi A8 para compartilhamento de informações de risco. Nesse modelo, os veículos enviam informações para um servidor remoto que processa as informações e envia aos veículos da rede, que ao receber a informação podem tomar decisões. Isso mostra uma comunicação ainda bastante limitada e que normalmente utiliza uma rede com protocolos proprietários e restrito a veículos do próprio fabricante. Segundo Skeete (2018), os veículos autônomos já trazem bastantes benefícios ao atual sistema de transporte mesmo funcionando de forma isolada, porém grandes ganhos somente virão quando for constituída uma grande rede na qual todos os veículos compartilhem informações entre si.

**Figura 7 - Evolução do CIoV.**



**Fonte: Chen et al. (2018).**

Os desafios enfrentados pelos atuais veículos autônomos trazem à tona algumas barreiras que ainda precisam ser vencidas para a total popularização desse modelo de veículo. O trabalho de Favarò, Eurich e Nader (2018), por exemplo, discute sobre as falhas dos sistemas dos carros autônomos testados no Vale do Silício, na Califórnia, que por obrigações legais precisam disponibilizar publicamente os registros dos incidentes no qual o sistema autônomo é desativado. Nos registros

gerados, falhas de *software* e de sensoriamento representam mais da metade das causas, seguida por falhas humanas, que por desconfiança no sistema, intervêm manualmente na direção. A terceira causa, é consequência de condições externas, nas quais o sistema não conseguiu tomar a decisão adequada.

O avanço dos sistemas veiculares autônomos tem um longo caminho pela frente, e ainda estão longe de se tornarem realidade para grande maioria das pessoas. Os benefícios de um veículo autônomo são, segundo Skeete (2018) e Leicht, Chtourou e Youssef (2018), inúmeros, e vão desde o aumento de segurança no trânsito, redução de stress dos motoristas e otimização dos tempos de deslocamento até a disrupção do atual modelo de mobilidade urbana e a criação de novos modelos de negócio, com o compartilhamento de veículos e redução nos custos de deslocamento.

## 5 FUTURO DO SISTEMA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

O sistema de transporte rodoviário precisa ainda evoluir em diversos aspectos, desde questões estruturais até a inserção massiva de tecnologia nos veículos, nos meios de comunicação e nos sistemas de gerenciamento e monitoramento de trânsito. No Brasil, problemas de infraestrutura básica, como pavimentação e sinalização ainda são alguns dos empecilhos para uma maior modernização do setor, conforme relatórios da CNT e IPEA explorados na seção 2. A evolução das redes veiculares do modelo *ad hoc* para o modelo de IoV, extrapolando os conceitos de comunicação exclusiva entre veículos para uma comunicação V2X e utilizando da alta escalabilidade da Internet no armazenamento e processamento de dados, mostra-se como tendência e certamente poderá gerar grandes avanços no setor de transportes rodoviário.

O crescimento da conectividade na era da Internet, sustentada principalmente pela ampliação e popularização das tecnologias móveis como 4G e da promissora 5G, faz com que as pessoas e grande parte das coisas ao seu redor sejam conectadas a essa grande rede mundial, na qual muitos serviços hoje estão disponíveis. Os veículos obviamente não ficam a margem desta revolução e aos poucos vão se conectando na rede e trocando informações. O esforço em se integrar as redes veiculares às outras tecnologias, segundo APEC (2016) deve ser tão grande quanto o esforço em se desenvolver as tecnologias das redes veiculares. O ganho que se terá tendo o setor de transportes integrado e alinhado a todos os outros setores da economia é primordial para o desenvolvimento da sociedade (APEC, 2016).

Muitas são as oportunidades de melhoria do setor de transporte rodoviário com a implementação de uma rede veicular, algumas delas como aumento de segurança e eficiência no trânsito e a redução na emissão de gases poluentes, já foram vistas na seção 3 e 4, porém a transformação vai muito além e vem para impactar todo o setor de transporte, influenciando diretamente na forma que as pessoas enxergam a mobilidade. Reflexo desse novo comportamento, é a grande adoção a serviços de transporte disponibilizados por meio de plataformas digitais, como Uber e Cabify, que possibilitaram uma nova dinâmica para a mobilidade urbana. Essa mudança no comportamento humano faz, por exemplo, com que

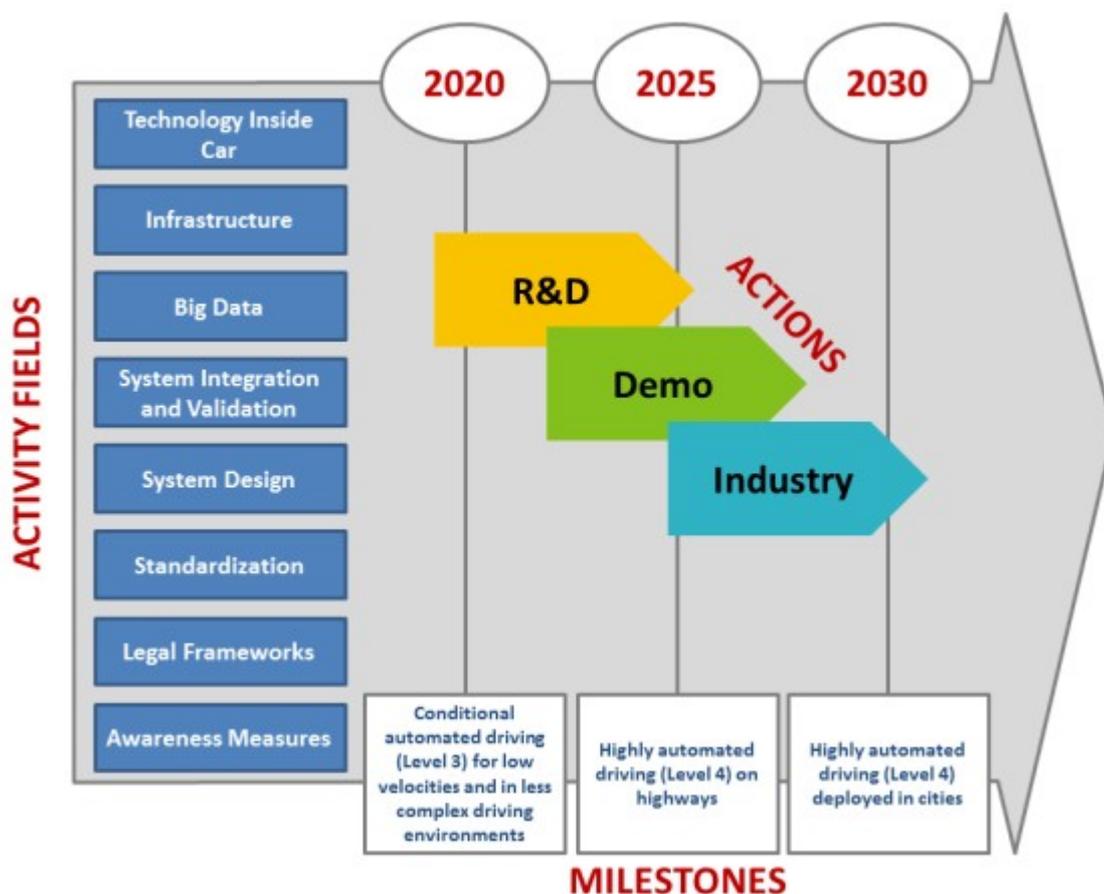
algumas pessoas abram mão de investir em veículos próprios para se utilizar de um sistema de transporte compartilhado. Essas e outras oportunidades de novos negócios virão para adequar a oferta de serviços ao novo perfil de comportamento humano.

Espera-se que, no futuro, o sistema de transporte rodoviário seja formado por uma complexa rede de veículos conectados trabalhando de forma cooperada na otimização de custos de deslocamento, aumento do conforto e da segurança dos usuários. A consequência será uma inerente disrupção do atual modelo de mobilidade, com a criação de inúmeras oportunidades de negócio

Os desafios a serem vencidos ainda são um entrave para a penetração mais generalizada dos veículos conectados, sobretudo pela indefinição das tecnologias de redes de comunicação. Segundo Siegel, Erb e Sarma (2018), alguns dos desafios estão relacionados às arquiteturas veiculares, tanto das redes intra e inter-veiculares quanto da infraestrutura de transporte, que precisam se adequar aos requisitos de performance, capacidade, cobertura e segurança exigidos. Com foco maior em carros autônomos, Dokic, Müller e Meyer (2015) ressaltam desafios que ultrapassam a esfera técnica, como a falta de confiabilidade dos atuais sistemas autônomos e destacam questões regulatórias, econômicas e éticas.

A figura 8, sugere um *roadmap* de evolução dos carros autônomos, com projeção de que até 2030 estejam presentes nas cidades carros autônomos nível SAE 4 já com produção em larga escala. É importante notar na figura que o sucesso dos carros autônomos está intimamente relacionado à evolução das tecnologias de TIC, infraestrutura, padronizações, questões legais e tecnologias veiculares, que juntas formam uma complexa rede veicular. Uma tecnologia fundamental é a big data, que, segundo Xu et al. (2018), é essencial na evolução dos carros autônomos, devido ao aumento considerável de dados produzidos pelos inúmeros sensores, que, sob análises de aprendizados eficientes, permitem uma análise profunda do ambiente e maior segurança na tomada de decisão dos sistemas autônomos.

Figura 8 - Roadmap da evolução dos carros autônomos



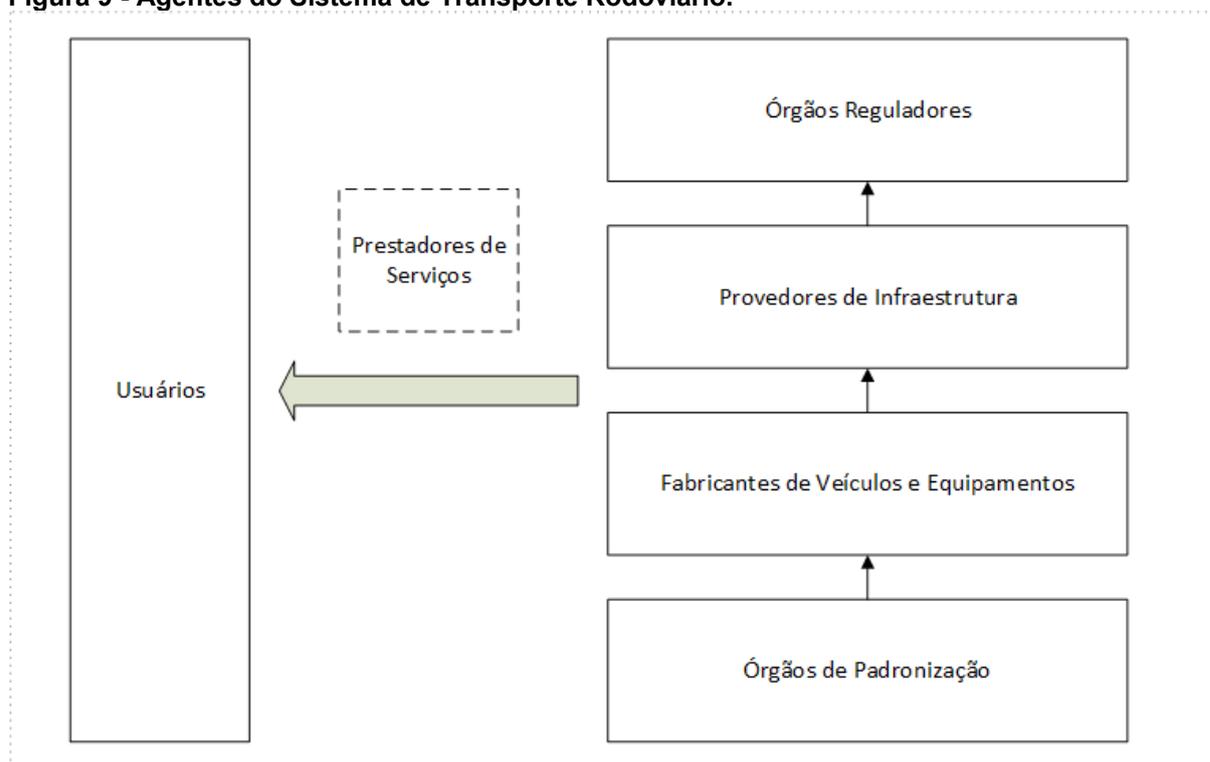
Fonte: Dokic, Müller e Meyer (2015)

Com a implantação de uma rede veicular, órgãos responsáveis pela engenharia de trânsito poderão usufruir de dados gerados em tempo real pelos veículos e por outros dispositivos conectados à rede para consolidar sistemas unificados de monitoramento e gerenciamento de informações de tráfego com *insights* relevantes para a tomada de decisão no âmbito normativo, executivo e na distribuição de recursos para investimento e na criação de políticas públicas. Tecnologias de *cloud computing*, *big data*, e inteligência artificial já estão presentes em inúmeras aplicações e devem ser consideradas na implementação de um sistema de transporte inteligente. Dong et al. (2016), por exemplo, definiu uma arquitetura para o transporte urbano totalmente voltada no uso das TICs, que, segundo ele, suportam um ecossistema urbano inovador.

Dados mostrados na seção 2, referentes ao modal rodoviário, retrataram a precariedade do sistema de transporte mais importante do país, apresentando uma realidade que parece que muitas vezes não é compreendida por grande parte dos

agentes do setor de transporte. Entende-se que o sucesso na elaboração e na implementação de programas de desenvolvimento do setor de transporte rodoviário exigem forte coordenação e sinergia das partes envolvidas. A figura 8 busca estruturar os principais agentes envolvidos na evolução do sistema de transporte rodoviário, e trazer a reflexão sobre suas relações e o papel deles na mudança.

**Figura 9 - Agentes do Sistema de Transporte Rodoviário.**



Fonte: Autoria própria.

Os órgãos de padronização, como 3GPP, ITU e IEEE tem papel fundamental na especificação das tecnologias, trabalhando de maneira bastante integrada com os grandes fabricantes de equipamentos e de veículos, que dão o suporte necessário para que a tecnologia seja validada em ambientes reais. Os órgãos reguladores têm papel importante no âmbito regional, pois são responsáveis pela regulação e fiscalização de setores. A Anatel é hoje o órgão responsável pela fiscalização do setor de telecomunicações, controlando, por exemplo, o uso de das faixas de frequência das redes celulares. Os provedores de infraestrutura (operadoras de rodovias, operadoras de telecomunicações e provedores de infraestrutura de computação) serão os responsáveis por entregar a infraestrutura básica para os prestadores de serviços e para os usuários finais do sistema de transporte rodoviário. Os prestadores de serviço terão um papel chave na entrega de

valor ao usuário final, e certamente caminham para se transformarem em grandes plataformas digitais baseadas em tecnologias de TIC.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

O atual panorama do sistema de transporte rodoviário brasileiro, é bastante preocupante quando se faz uma análise evolutiva principalmente nas últimas décadas. Se por um lado a evolução das redes intra-veiculares com padrões e protocolos que permitem maior capacidade e performance na transmissão de dados juntamente com o incremento de diversos sistemas de sensoriamento e sistemas autônomos representam um avanço nas tecnologias veiculares, por outro evidencia-se a lenta evolução nas redes de telecomunicações e na infraestrutura do transporte rodoviário. Apesar de haver uma forte e inegável evolução dos carros autônomos, das tecnologias móveis, como 5G e das tecnologias como *cloud computing* nos últimos anos, o setor rodoviário não conseguiu aplicá-la de maneira ampla e sofre ainda com dificuldades no âmbito estrutural, regulatório e governamental. A concepção de redes veiculares totalmente integradas, em um ambiente onde tudo está conectado, trabalhando de forma cooperada se apresenta como tendência, e vai ao encontro dos anseios da sociedade moderna, que passa por uma transformação social na qual a opção por alternativas sustentáveis, eficientes e econômicas deixa de ser exceção e viram regra. A conectividade vai muito além dos *smartphones* e irá certamente atingir e se amplificar em todos os setores da sociedade, e o setor rodoviário, pela sua importância econômica e social, será o alicerce dessa revolução, como peça fundamental para o desenvolvimento de cidades cada vez mais inteligentes e conectadas.

Como trabalho futuro, sugere-se um estudo aprofundado das questões regulatórias e políticas do Brasil, analisando as dificuldades que essas questões representam para o desenvolvimento de redes veiculares aplicadas na evolução do atual Sistema de Transporte Rodoviário brasileiro.

## REFERÊNCIAS

3GPP (USA) (Org.). **Releases**. 2018. Disponível em: <<http://www.3gpp.org/specifications/releases>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

APEC (China). Símposio Mobile Mobility China 2016 (Org.). **White Paper of Internet of Vehicles (IOV) - Edition 2**. 2016. Disponível em: <<https://www.apec.org/-/media/Files/Groups/PPSTI/The-2nd-APEC-White-Paper-on-the-Internet-of-Vehicles-Edition-2.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016

BARAT, Josef. **Logística, transporte e desenvolvimento econômico: A Visão Setorial**. 1 ed. São Paulo: Editora Cla, 2007.

BRASIL, Presidência da República. Lei nº 9503/97 Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm)>. Acesso em: 18 jul. 2018.

BRASIL. IPEA. **Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras: Caracterização, Tendências e Custos para a Sociedade**. 2015. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922\\_relatorio\\_acidentes\\_transito.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922_relatorio_acidentes_transito.pdf)>. Acesso em: 23 maio 2018.

BRASÍLIA. CNT. **Transporte Rodoviário: Desempenho do setor, infraestrutura e investimentos**. 2017. Disponível em: <[http://cms.cnt.org.br/Imagens CNT/PDFs CNT/Estudos CNT/estudo\\_transporte\\_rodoviario\\_infraestrutura.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_transporte_rodoviario_infraestrutura.pdf)>. Acesso em: 23 maio 2018.

CHEN, Min et al. Cognitive Internet of Vehicles. **Computer Communications**, [s.l.], v. 120, p.58-70, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2018.02.006>.

CONTRERAS, Juan; ZEDADALLY, Sherali; GUERRERO-IBANEZ, Juan Antonio. Internet of Vehicles: Architecture, Protocols, and Security. **IEEE Internet Of Things Journal**, [s.l.], p.1-1, 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

DNIT (BRA). **Competências Gerais do DNIT**. 2018. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/competencia\\_geral.htm](http://www1.dnit.gov.br/competencia_geral.htm)>. Acesso em: 01 jun. 2018.

DONG, Xisong et al. A framework of future Innovative Urban Transport. **2016 IEEE 19th International Conference On Intelligent Transportation Systems (ITSC)**, [s.l.], p.19-23, nov. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/itsc.2016.7795525>.

DOKIC, Jadranka; MÜLLER, Beate; MEYER, Gereon. **European Roadmap Smart Systems for Automated Driving**. 2015. Disponível em: <<http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/newsletter/2015/no08/EPOSS.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

ETSI (Valbonne). European Telecommunications Standards Institute. **LTE; Service requirements for V2X services: (3GPP TS 22.185 version 14.3.0 Release 14)**. 2017. Disponível em: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/122100\\_122199/122185/14.03.00\\_60/ts\\_122185v140300p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122100_122199/122185/14.03.00_60/ts_122185v140300p.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2018.

FAVARÒ, Francesca; EURICH, Sky; NADER, Nazanin. Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations. **Accident Analysis & Prevention**, [s.l.], v. 110, p.136-148, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.001>.

GLANCY, Dorothy J.. Autonomous and Automated and Connected Cars: Oh My! First Generation Autonomous Cars in the Legal Ecosystem. **Minnesota Journal Of Law, Science & Technology**. [s.i.], p. 619-691. 2015.

HARTENSTEIN, H.; LABERTEAUX, K.p.. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. **IEEE Communications Magazine**, [s.l.], v. 46, n. 6, p.164-171, jun. 2008. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2008.4539481>.

HÖYHTYÄ, Marko; APILO, Olli; LASANEN, Mika. Review of Latest Advances in 3GPP Standardization: D2D Communication in 5G Systems and Its Energy Consumption Models. **Future Internet**, [s.l.], v. 10, n. 1, p.3-20, 3 jan. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/fi10010003>.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **REPORT ITU-R M.2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)**. 1 ed. Genebra: Itu, 2017. Disponível em: <[https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2018.

KAIWARTYA, Omprakash et al. Internet of Vehicles: Motivation, Layered Architecture, Network Model, Challenges, and Future Aspects. **IEEE Access**, [s.l.], v. 4, p.5356-5373, 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2016.2603219>.

KENNEY, John B.. Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States. **Proceedings Of The IEEE**, [s.l.], v. 99, n. 7, p.1162-1182, jul. 2011. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2011.2132790>.

LEICHT, Thomas; CHTOUROU, Anis; YOUSSEF, Kamel Ben. Consumer innovativeness and intentioned autonomous car adoption. **The Journal Of High Technology Management Research**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.1-11, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hitech.2018.04.001>

LI, Yunxin. An Overview of the DSRC/WAVE Technology. **Lecture Notes Of The Institute For Computer Sciences, Social Informatics And Telecommunications Engineering**, [s.l.], p.544-558, 2012. Springer Berlin Heidelberg. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29222-4\\_38](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29222-4_38).

MUMTAZ, Shahid et al. Cognitive vehicular communication for 5G. **IEEE Communications Magazine**, [s.l.], v. 53, n. 7, p.109-117, jul. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2015.7158273>.

PANJRATH, Navpreet; PORIYE, Monika. A Comprehensive Survey of VANET Architectures and Design. **International Journal Of Advanced Research In Computer Science**, Kurukshetra, v. 5, n. 8, p.2099-2103, jun. 2017.

QURESHI, Kashif Naseer; ABDULLAH, Abdul Hanan. A Survey on Intelligent Transportation Systems. **Middle-east Journal Of Scientific Research**, Johor Darul, p.629-642, 15 maio 2013.

REN, Yi et al. Power Control in D2D-Based Vehicular Communication Networks. **IEEE Transactions On Vehicular Technology**, [s.l.], v. 64, n. 12, p.5547-5562, dez. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tvt.2015.2487365>.

SIEGEL, Joshua E.; ERB, Dylan C.; SARMA, Sanjay E.. A Survey of the Connected Vehicle Landscape—Architectures, Enabling Technologies, Applications, and Development Areas. **IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems**,

[s.l.], v. 19, n. 8, p.2391-2406, ago. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tits.2017.2749459>.

SKEETE, Jean-paul. Level 5 autonomy: The new face of disruption in road transport. **Technological Forecasting And Social Change**, [s.l.], p.1-12, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2018.05.003>.

TUOHY, Shane et al. Intra-Vehicle Networks: A Review. **IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.534-545, abr. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tits.2014.2320605>.

WEVERS, Kees; LU, Meng. **V2X Communication for ITS: from IEEE 802.11p Towards 5G**. 2017. IEEE 5G Tech Focus: Volume 1, Number 2, June 2017. Disponível em: <<https://5g.ieee.org/tech-focus/march-2017/v2x-communication-for-its>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

WHO (USA). **Number of road traffic deaths: Situation and trends**. Disponível em: <[http://www.who.int/gho/road\\_safety/mortality/number\\_text/en/](http://www.who.int/gho/road_safety/mortality/number_text/en/)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

XIONG, Zhang et al. Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review. **Science China Information Sciences**, [s.l.], v. 55, n. 12, p.2908-2914, 24 nov. 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11432-012-4725-1>.

XU, Wenchao et al. Internet of vehicles in big data era. **IEEE/CAA Journal Of Automatica Sinica**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.19-35, jan. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jas.2017.7510736>.

XU, Xian; FAN, Chiang-ku. Autonomous vehicles, risk perceptions and insurance demand: An individual survey in China. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s.l.], maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.009>.

YANG, Fangchun et al. An overview of Internet of Vehicles. **China Communications**, [s.l.], v. 11, n. 10, p.1-15, out. 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/cc.2014.6969789>.

YANG, Fangchun et al. Architecture and key technologies for Internet of Vehicles: a survey. **Journal Of Communications And Information Networks**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.1-17, jun. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s41650-017-0018-6>.